



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

INGENIERÍA TÉCNICA EN  
TELECOMUNICACIÓN: SISTEMAS DE  
TELECOMUNICACIONES

PROYECTO FIN DE CARRERA

CONFIGURADOR DE CAPACIDAD PARA  
REDES LTE

**Autor:** Israel Palomares Fernández  
**Tutores:** Carlos Jesús Bernardos Cano  
**Fecha:** 14 Octubre 2015

## Agradecimientos

*A mi mujer, por su paciencia durante todos estos años.  
A mis padres, por querer ver este proyecto finalizado.  
A Maria y Cristina porque al final acabamos.  
A mi familia y amigos por estar ahí.  
Gracias*

## Resumen

Debido al incremento del número de abonados de telefonía móvil, junto a la creciente demanda de un mayor ancho de banda para el uso de aplicaciones en la nube y la necesidad de interacción en línea con el menor retardo posible, la tecnología LTE se ha presentado como la solución más óptima para la nueva generación de comunicaciones móviles a emplear por los operadores móviles.

El presente proyecto de fin de carrera, tiene como objetivo diseñar un configurador de capacidad que ayude a definir el ancho de banda necesario que los operadores móviles tienen que disponer en sus redes para satisfacer a los abonados en sus comunicaciones, tal y como lo han sido con estándares anteriores a lo largo de la existencia de las comunicaciones móviles.

Es por ello, que este estudio se centrará en calcular el ancho de banda necesario para transmitir de una manera óptima la señalización generada por el núcleo de red.

Se comenzará con el estudio teórico de la red 3G y 4G, y de los distintos protocolos que la componen, de entre los cuales se seleccionarán el protocolo MAP y Diameter respectivamente.

En base al estudio anterior, y analizando trazas de señalización de un entorno real, se realizará un análisis comparativo de ambos protocolos en función de su eficiencia.

Se continuará con el diseño del configurador de capacidad, que en función de una serie de parámetros de entrada permitirá calcular el ancho de banda necesario para transmitir la señalización generada por el núcleo de red.

Y Se finalizará con una descripción de cómo utilizar el configurador de capacidad con un software comercial.

## **Abstract**

Due to the increasing number of mobile subscribers, together with the growing demand for increased bandwidth for the use of cloud applications and the need for online interaction with the least possible delay, the LTE technology has been presented as the optimal solution for the new generation of mobile communications to be used by mobile operators.

This project aims to design configurator ability to help define the necessary bandwidth, mobile operators must have in their networks to meet subscribers in communications as we have been with previous standards along the existence of mobile communications.

Therefore, this study will focus on calculating the bandwidth required to transmit optimally signaling generated by the core network.

It begins with the theoretical study of 3G and 4G network and the various protocols that comprise, among which the MAP and Diameter protocol is selected respectively.

Based on the above study, and analyzing signaling trace of a real environment a comparative analysis of both protocols, depending on its efficiency is performed.

It will continue with the design of configurator, according to a number of input parameters allow you to calculate the bandwidth required to transmit the signal generated by the core network.

And this ends with a description of how to use the configurator with commercial software.

# ÍNDICE

<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
1.1 MOTIVACIÓN.....	7
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
1.3 OBJETIVOS.....	8
1.4 CONTENIDO DE LA MEMORIA.....	9
<b>2 ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>11</b>
2.1 EVOLUCIÓN DE LAS REDES MÓVILES.....	11
2.1.1 PRIMERA GENERACIÓN.....	11
2.1.2 SEGUNDA GENERACIÓN.....	12
2.1.3 TERCERA GENERACIÓN.....	12
2.1.4 CUARTA GENERACIÓN.....	15
2.2 INTRODUCCIÓN A LA SEÑALIZACIÓN DE LA MOVILIDAD.....	18
2.3 MAP.....	19
2.3.1 FUNCIÓN.....	21
2.3.2 TORRE DE PROTOCOLOS.....	21
2.3.2.1 PARTE DE TRANSFERENCIA DE MENSAJES.....	22
2.3.2.2 CONEXIÓN DE SEÑALIZACIÓN DE LA PARTE DE CONTROL.....	22
2.3.2.3 CAPACIDADES DE TRANSACCIÓN DE LA PARTE DE APLICACIÓN (TCAP).....	22
2.3.3 INTERFACES.....	23
2.3.4 PUNTOS DE REFERENCIA.....	24
2.4 DIAMETER.....	25
2.3.1 FUNCIÓN.....	25
2.3.2 TORRE DE PROTOCOLOS.....	26
2.3.2.1 CAPA DE TRANSPORTE SCTP.....	26
2.3.2.2 DIAMETER BASE.....	27
2.3.3 INTERFACES.....	28
2.3.4 PUNTOS DE REFERENCIA.....	30
<b>3 COMPARACIÓN 3G Y LTE.....</b>	<b>32</b>
3.1. INTRODUCCIÓN.....	32
3.2. ESTRUCTURA GENERAL PROTOCOLO SCCP/MAP. ....	33
3.3 ESTRUCTURA GENERAL PROTOCOLO DIAMETER.....	42
3.4 DATOS A COMPARAR.....	45
3.5 COMPARATIVA DE OPERATIVAS.....	45
3.5.1 INFORMACIÓN DE AUTENTICACIÓN.....	46
3.5.2 ACTUALIZACIÓN DE LOCALIZACIÓN.....	50
3.5.3 CANCELACIÓN.....	54
<b>4 CONFIGURADOR DE CAPACIDAD.....</b>	<b>58</b>
4.1 INTRODUCCIÓN.....	58
4.2 PARÁMETROS BÁSICOS.....	58

4.3 CONFIGURADOR.....	61
<b>5 APLICACIÓN SOBRE SOFTWARE COMERCIAL.....</b>	<b>70</b>
5.1 INTRODUCCIÓN.....	70
5.2 APLICACIÓN.....	70
<b>6 HISTORIA DEL PROYECTO.....</b>	<b>87</b>
6.1 FASE I: ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS.....	87
6.2 FASE II: RECOPIACIÓN DE DOCUMENTACIÓN.....	88
6.3 FASE III: ESTUDIO PROTOCOLOS DE SEÑALIZACIÓN.....	88
6.4 FASE IV: OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE TRAZAS.....	89
6.5 FASE V: COMPARACIÓN DE PROTOCOLOS.....	89
6.6 FASE VI: DISEÑO DEL CONFIGURADOR DE CAPACIDAD.....	90
6.7 FASE VII: APLICACIÓN CONFIGURADOR EN ENTORNO COMERCIAL.....	90
6.8 FASE VIII: DOCUMENTACIÓN.....	91
<b>7 GESTIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>92</b>
7.1. PLANIFICACIÓN.....	92
7.2. PRESUPUESTO.....	93
7.2.1. COSTES DE PERSONAL.....	93
7.2.2. COSTES DE MATERIALES.....	94
7.2.3. COSTE TOTAL DEL PROYECTO.....	94
<b>8 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.....</b>	<b>95</b>
8.1 CONCLUSIONES DEL PROYECTO.....	95
8.2 TRABAJO FUTURO.....	97
<b>9 BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>99</b>

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Motivación

El incremento del número de abonados de telefonía móvil, elevando el número de suscripciones de datos a nivel mundial, junto a la creciente demanda de un mayor ancho de banda hacia aplicaciones en la nube y la necesidad de interacción en línea con el menor retardo posible, ha creado la necesidad de incrementar la velocidad de transmisión de los sistemas móviles.

Debido a esta demanda creciente de comunicaciones a alta velocidad, la tecnología LTE se ha presentado como la solución más óptima para la nueva generación de comunicaciones móviles a emplear por los operadores móviles.

El presente proyecto de fin de carrera, tiene como motivación definir el ancho de banda necesario, que los operadores móviles tienen que disponer en sus redes, para satisfacer a los abonados en sus comunicaciones tal y como lo han sido satisfechos con estándares anteriores, 3G, 2G... a lo largo de la existencia de las comunicaciones móviles.

Es por ello, que para ayudar a los ingenieros de telecomunicaciones de los distintos operadores móviles a calcular el ancho de banda necesario que debe de soportar sus redes para dar un servicio óptimo a sus abonados, en función de las distintas variables a tener en cuenta y que se detallarán a lo largo de este estudio, se creará un configurador de capacidad.

## 1.2 Planteamiento del problema

Según lo señalado en el apartado anterior, el objetivo general de este estudio es diseñar un configurador de capacidad. Este es el que permitirá calcular el ancho de banda necesario a disponer en una red móvil, en función de una serie de parámetros de entrada.

Se tiene que matizar, que el tema seleccionado en el presente estudio abarca un amplio espectro de protocolos y elementos de la red móvil, por lo que se va a tener que seleccionar únicamente una parte concreta, ya que si no sería imposible abordarlo de una manera satisfactoria.

Debido a ello, este estudio se centrará en calcular el ancho de banda necesario para transmitir de una manera óptima la señalización generada por el núcleo de red, en concreto: HSS (Home Subscriber Server - Servidor de abonado local), SGSN (Serving GPRS Support Node - Nodo de Soporte de Servicio GPRS) y MME (Mobility Management Entity - Entidad de Gestión de Movilidad).

Para lograr el objetivo planteado, se comenzará por el estudio teórico de la red 3G y 4G y los distintos protocolos que la componen, de entre los cuales se seleccionarán el protocolo MAP en 3G y el protocolo Diameter en 4G.

En base al estudio anterior, y analizando trazas de señalización de un entorno real, se realizará un estudio comparativo para ver cuál de estos protocolos presenta mayor eficiencia.

Se continuará con el diseño del configurador, utilizando para ello los datos de los apartados anteriores estudiados.

Finalmente se aplicará el configurador en varios entornos reales, validando en demostraciones que el valor obtenido del ancho de banda necesario para la red móvil en cuanto a albergar la señalización son correctos.

## **1.3 Objetivos**

Los objetivos han sido seleccionados para que se adapten a la motivación del estudio de este proyecto, permitiendo realizar un análisis adecuado, tanto de los protocolos a analizar como del diseño del configurador a diseñar.

Los objetivos son los siguientes:

1. Analizar la estructura de los protocolos de señalización MAP y Diameter



usados en 3G y 4G, respectivamente.

2. Realizar un análisis comparativo de ambos protocolos analizados, en función de su eficiencia.
3. Diseño de un configurador de capacidad, que en función de una serie de parámetros de entrada como pueden ser: número de abonados, número de transacciones por segundo, etc., permita calcular el ancho de banda necesario para transmitir la señalización generada por el núcleo de red.
4. Aplicación del configurador de capacidad en un entorno comercial. Analizando los resultados obtenidos y comprobando el correcto funcionamiento del configurador.

## 1.4 Contenido de la memoria

Una vez descrita la motivación y los objetivos que se pretenden cubrir con la realización de este proyecto, a continuación se muestra una pequeña introducción de cada uno de los capítulos que se tratan en esta memoria:

En el **capítulo 2** se expone el estado del arte, definiendo y analizando todos los conocimientos adquiridos que son necesarios para la elaboración del proyecto. De este modo, se estudiarán los protocolos de señalización móvil, comenzando con una breve descripción de la evolución de las redes móviles y continuando con el estudio de los protocolos utilizados en 3G y 4G, centrándose el estudio en la parte de MAP para 3G y en la parte de Diameter para la parte de 4G. Analizando para cada uno de ellos su funcionalidad, sus interfaces y sus puntos de referencia

En el **capítulo 3** se realiza una comparación entre los protocolos MAP y Diameter, en base a una serie de operativas de señalización móvil. Antes de esta comparativa, se analizará cada protocolo, MAP y Diameter, para adquirir el conocimiento necesario de los campos que los componen y la longitud de los mismos.

En el **capítulo 4** se realizará un configurador de capacidad para 4G, en base

a los datos obtenidos en la comparativa anterior, que permitirá calcular la capacidad de ancho de banda necesaria de la red móvil en función de una serie de parámetros variables que se definirán.

En el **capítulo 5** se describe cómo utilizar el configurador de capacidad con un software comercial, analizando los resultados obtenidos sobre un entorno real.

En el **capítulo 6** se describe la historia del proyecto, desarrollando cada fase en la que se ha dividido el proyecto.

En el **capítulo 7** se presenta los datos sobre la gestión del proyecto, en base a su planificación y los recursos empleados, tanto materiales como personales.

En el **capítulo 8** se incluye las conclusiones obtenidas tras la realización del trabajo y las líneas futuras sobre las que trabajar para ampliar el estudio.

En el **capítulo 9** aparece la bibliografía del proyecto, dividiendo la misma en libros utilizados, libros electrónicos empleados y recursos consultados en la Web.

## **2 ESTADO DEL ARTE**

El protocolo de señalización Diameter ha tomado un lugar central en el mundo de la movilidad en los últimos años, debido a su utilidad para la coordinación de actividades entre los elementos de la red IP, como son los servidores de políticas, los sistemas y las pasarelas de movilidad de carga en línea.

Para predecir y adaptarse al crecimiento de la señalización Diameter, los proveedores de servicios deben tener en cuenta los perfiles y comportamientos de abonado, así como el tipo de servicios y dispositivos que tienen y planean introducir en sus redes.

Las sesiones de datos, descargas de vídeo, y la invocación de la política y las normas de tarificación, introducen señalización adicional en las redes, puntos que tienen que ser considerados para predecir con precisión las necesidades de la red.

En el siguiente punto, se describe la evolución que han sufrido las redes móviles desde la tecnología 1G hasta la tecnología actual 4G LTE.

### **2.1 Evolución de las redes móviles**

La evolución de las comunicaciones móviles se describe como una secuencia de generaciones marcadas por hitos de grandes cambios en el modo de comunicarse. La primera generación de telefonía móvil fue analógica, la segunda generación fue digital, la tercera generación se había previsto para permitir la transmisión completa de datos multimedia, así como las comunicaciones de voz. Y la cuarta generación ha mejorado el acceso a radio, ofreciendo mejoras considerables en las tasas de transferencia de datos en comparación a las generaciones anteriores de la tecnología inalámbrica.

#### **2.1.1 Primera Generación**

La Primera Generación de comunicaciones móviles se caracteriza por ser analógica y estrictamente para voz. Basada en la tecnología FDMA (Acceso

Múltiple por División de Frecuencia) y FDD (División Dúplex de Frecuencia) para establecer la comunicación TX y RX, consiguiendo velocidades de acceso de hasta 2.4 kbps.

## **2.1.2 Segunda Generación**

Se conoce como 2G a la segunda generación de sistemas de comunicación móvil. No es un estándar o un protocolo en sí mismo, sino más bien una forma de marcar el cambio de la comunicación analógica a la digital.

Las tecnologías predominantes son: GSM (Sistema Global Movil), CDMA (Acceso Múltiple por división de Código) y TDMA (Acceso Múltiple por división de Tiempo).

Con el fin de satisfacer un mayor requerimiento en las tasas de transmisión de datos, 2G evolucionó a partir de 3 actualizaciones de TDMA: Alta velocidad de conmutación de circuitos de datos (HSCSD), Servicio General de Paquetes vía Radio (GPRS) y Velocidad de datos mejorada para la evolución de GSM (EDGE), estos últimos categorizados comercialmente como 2.5 y 2.75G respectivamente y caracterizados por incorporar nodos de conmutación de paquetes (PS) a los ya existentes nodos de conmutación de circuitos (CS), consiguiendo velocidades de acceso de hasta 284 kbps en el caso de EDGE.

## **2.1.3 Tercera Generación**

Los sistemas de comunicaciones móviles 3G o UMTS (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móvil) se caracterizan por la convergencia de voz y datos con acceso a internet (aplicaciones multimedia con altas tasas de transmisión de datos).

La tecnologías predominante es WCDMA (Acceso de Banda Ancha por División de Código Múltiple), en operación FDD (División de Frecuencia Doble) espectro pareado, aunque también se ha tenido en cuenta la TD/CDMA en operación TDD (División de Tiempo Doble) espectro no-pareado para uso en

recintos cerrados, consiguiendo una alta velocidad en transmisión de datos, de hasta 2 Mbps.

Como consecuencia de la optimización de la tecnología espectral UMTS/WCDMA, surgió HSPA, (Acceso de alta velocidad de paquetes) que puede alcanzar velocidades de hasta 14 Mbps en condiciones óptimas.

Por último, debido a una serie de mejoras en la red de acceso de radio, para una conectividad continua de paquetes, HSPA evolucionó a HSPA+ (HSPA Evolucionado) permitiendo velocidades de hasta 42 Mbps.

- **Arquitectura de red:**

La red 3G está definida por los siguientes subsistemas:

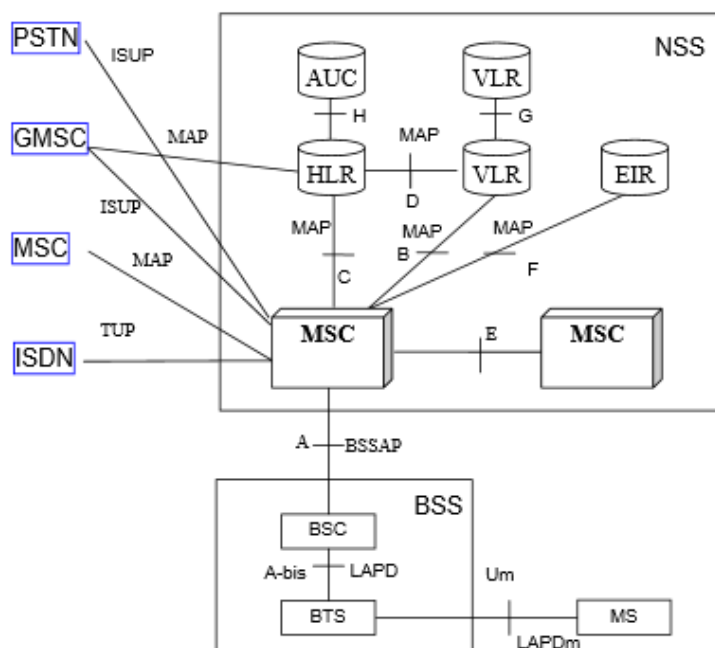


Figura 1. Esquema de red 3G

### 1. Subsistema de conmutación (SSS) y Red (NSS)

Se encargan de Manejar el servicio de comunicación entre móviles y la conexión con otras redes. En este subsistema se desarrollan las funciones de:

- **Localización Automática.** Se transmite una señal del móvil que se comunica a la red.

- **Roaming (Movilidad) Internacional de las estaciones móviles.**

Existe una comunicación entre la MSC de los distintos países y conociendo la situación del móvil registrado al sistema, sin afectar el país donde se encuentre.

- **Direccionamiento de las llamadas:** Proporciona unos enlaces por los que se trasmita la llamada Teniendo las siguientes entidades funcionales:

- a. Central de Conmutación MSC/GMSC (**Móvil/Cabecera**). Gestiona llamadas en las que interviene la red fija, pudiendo funcionar la red fija con la móvil.
- b. Unidad de Inter-funcionamiento. Convierte los protocolos utilizados en el sistema GSM a los utilizados en las redes fijas y permite que GSM funcione con otras redes.
- c. Registros en HLR , VLR y de identificador de equipos EIR (base de datos que posee las identidades de los equipos móviles)
- d. Centro de Autenticación a AUC. Valida y autentica a los usuarios.

## **2. Subsistema de estación base (BSS) y Subsistema de radio (RSS)**

Posee una serie de equipos que proporcionan la cobertura en el área celular. Es responsable de establecer a comunicación con la Estación Móvil (MS), cuya área puede estar formada por una o más BTS.

Este subsistema realiza las funciones de:

- Transmite/recibe a través de Um.
- Establece, supervisa y concluye llamadas.
- Procesa voz y adapta velocidad.
- Control de equipos y reconfiguraciones.
- Control de Mantenimiento.

Una estación base se puede dividir en dos partes, transceptoras (BTS) y sus

controladores (BSC).

### **3. Subsistema de Operación y mantenimiento (OMSS)**

Posee una estructura bastante compleja de equipos, instalaciones, programas...etc.

Posee las funciones de operación y mantenimiento, siendo indispensables para la explotación de la red, influyendo en la calidad que el operador oferte al cliente.

Se divide en dos:

- **NMC** (Network Management Center) o Centro de Explotación de Red. Es la máxima jerarquía dentro de la explotación de red.
- **OMC** (Operating & Maintenance Center- Centro de Operación y Mantenimiento): funciones de tarificación, operaciones de red, supervisar la calidad del funcionamiento de red...etc.

## **2.1.4 Cuarta Generación**

La característica principal de 4G LTE es que está basada totalmente en IP, abandonando la conmutación de circuitos. Utiliza OFDMA (Acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales) como técnica de acceso al medio, permitiendo velocidades de transmisión de hasta 1Gbps.

Esta conexión de banda ancha inalámbrica más rápida permite a los operadores proporcionar servicios con mayores niveles de datos, incluyendo las aplicaciones de negocios, tiempo real de audio y vídeo, televisión móvil y juegos.

Es importante aclarar, que si bien en un principio LTE (Evolución a Largo Plazo) es considerado como 3.9G y que 4G será LTE-Advanced, comercialmente se habla de LTE como 4G.

- **Arquitectura de red 4G:**

Como se ilustra en la Figura 2, el núcleo del sistema EPC (Evolved Packet Core) está formado por tres entidades de red: MME (*Mobility Management Entity*), Serving Gateway (S-GW) y Packet Data Network Gateway (P-GW).

Estas tres entidades, junto con la base de datos principal denominada HSS (*Home Subscriber Server*), constituyen los elementos básicos para la provisión del servicio de conectividad IP entre los equipos de usuario conectados a través de E-UTRAN y redes externas a las que se conecta la red troncal EPC. Las funciones asociadas con el plano de usuario se concentran en las dos pasarelas (S-GW y P-GW) mientras que la entidad MME se encarga de las funciones y señalización del plano de control.

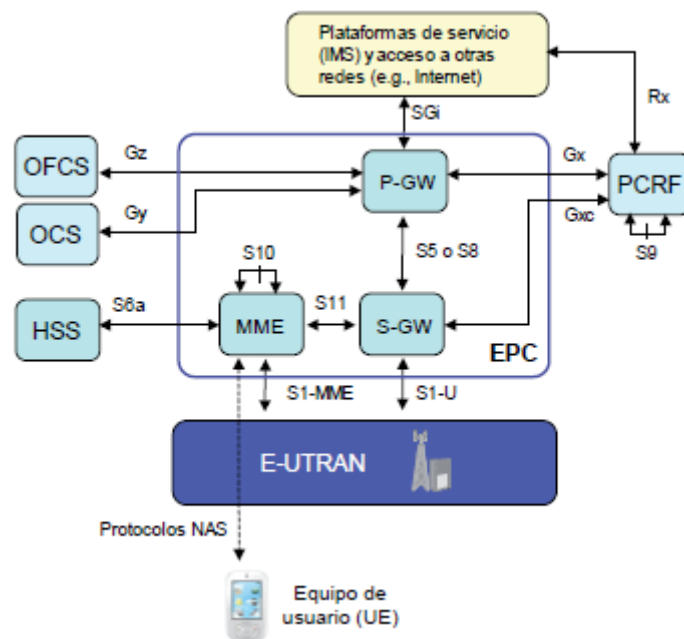


Figura 2. Arquitectura básica de la red troncal EPC

Descripción de las entidades:

- **MME (Mobility Management Entity).**

La entidad MME constituye el elemento principal del plano de control de la red LTE para gestionar el acceso de los terminales a través de E-UTRAN. Todo terminal que se encuentre registrado en la red LTE y sea accesible a través de E-UTRAN, tiene una entidad MME asignada.

La elección de la entidad MME se realiza en el proceso de registro y depende de aspectos tales como la ubicación geográfica del terminal en la red (cada MME sirve a un conjunto determinado de eNBs) así como a criterios de balanceo de cargas.



Dicha entidad mantiene un contexto de datos del usuario (identificadores del usuario, conexiones y servicios portadores EPS activos, claves de seguridad, datos de localización del usuario en la red, etc.) y articula todas las gestiones que se realicen en relación a dicho usuario (establecimiento de servicios portadores EPS, etc.). La entidad MME asignada a un usuario puede ir cambiando atendiendo a la movilidad de dicho usuario dentro de la zona de servicio de la red.

- **Serving Gateway (S-GW).**

Esta entidad actúa de pasarela del plano de usuario entre E-UTRAN y la red troncal EPC. Al igual que sucede con la entidad MME, un usuario registrado en la red LTE dispone de una entidad S-GW asignada en la EPC a través de la cual transcurre su plano de usuario. La asignación de la pasarela S-GW responde también a criterios geográficos así como de balanceo de cargas.

- **PDN Gateway (P-GW).**

Esta entidad es la encargada de proporcionar conectividad entre la red LTE y las redes externas (denominadas como *Packet Data Network*, PDN). Es decir, a través de la entidad P-GW, un usuario conectado al sistema LTE resulta “visible” en la red externa. Por tanto, los paquetes IP generados por el usuario se inyectan en la red externa a través de esta pasarela y, viceversa, todo el tráfico IP dirigido a un terminal LTE proveniente de la red externa va a ser encaminado hasta el P-GW.

Un usuario tiene asignada como mínimo una pasarela P-GW desde su registro en la red LTE.

- **HSS (Home Subscriber Server).**

El HSS es la base de datos principal del sistema 3GPP que almacena la información de los usuarios de la red. La información contenida en el HSS abarca tanto información relativa a la subscripción del usuario como información necesaria para la propia operativa de la red. La base de datos HSS es consultada, y modificada, desde las diferentes entidades de red

encargadas de proporcionar los servicios de conectividad o servicios finales (MME de red troncal EPC, SGSN de la red GPRS, MSC del dominio de circuitos y también desde servidores de control del subsistema IMS). El HSS contiene tanto información permanente que sólo puede ser cambiada mediante procesos administrativos (campos creados al dar de alta a un usuario en la red o cambiar las condiciones de su contrato), así como información temporal que cambia a raíz de la propia operación del sistema (localización del terminal dentro de la zona de servicio del sistema).

## 2.2 Introducción a la señalización de la movilidad

Con la evolución de las redes móviles hacia una red 4G LTE llamada EPS (Sistema de Paquetes Evolucionado), que es una red móvil totalmente IP, los protocolos de señalización deben ser diseñados directamente sobre IP.

El protocolo Diameter ha sido elegido como el protocolo de AAA (*Authentication, Authorization, and Accounting* - *Autenticación, autorización y facturación*) en todas las redes móviles de próxima generación basadas en IP. Está diseñado para soportar datos, servicios y aplicaciones con extrema flexibilidad y se espera que reemplace todos los protocolos heredados como MAP (Mobile Application Part - Parte de Aplicación Móvil).

Nuestro estudio se centrará en la señalización de la parte del Núcleo de Red, debido a que es la que genera una mayor señalización hacia la red.

Para ello, se procederá a realizar una breve introducción sobre los protocolos de señalización utilizados para la gestión de movilidad; MAP, utilizado para la gestión de la movilidad en GPRS, y Diameter para la gestión de la movilidad EPS.

## 2.3 MAP

Es un protocolo de SS7 que proporciona una capa de aplicación para los distintos nodos en GSM y UMTS, redes centrales móviles y redes de núcleo GPRS, para comunicarse entre sí con el fin de proporcionar servicios a los usuarios de teléfonos móviles.

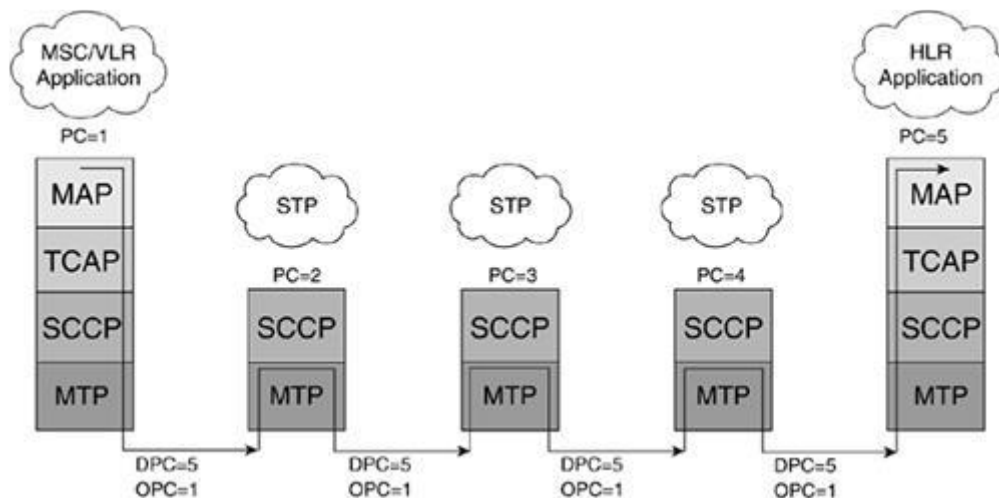


Figura 3. Elementos de la red que se comunican a través de MAP

Sobre esta capa se construye un conjunto estandarizado de servicios y los flujos de información que implementan dichos servicios para permitir que la información pueda ser transferida, con el fin de registrar, localizar y entregar las llamadas a un abonado en itinerancia.

- Flujo de Cancelación, registro y purgado en la red de voz.

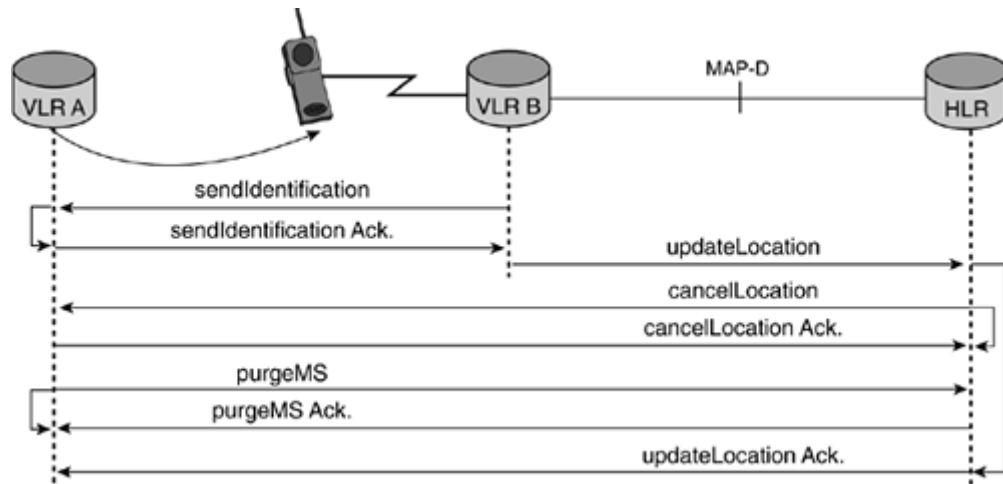


Figura 4. Flujo de Cancelación, registro en la red y purgado.

- Flujo de autenticación, registro y cancelación en la red de datos.

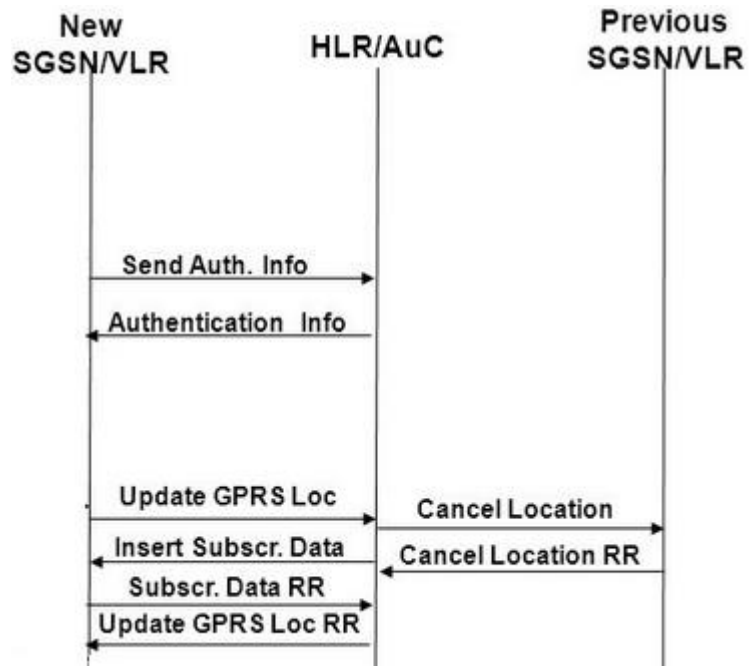


Figura 5. Flujo de autenticación, registro y cancelación en red.

### 2.3.1 Función

Las principales funciones de MAP son las siguientes:

- Servicios de Movilidad: gestión de localización, autenticación, información de suscripción servicio gestor, recuperación de fallos.
- Operación y Mantenimiento: rastreo de abonados, recuperación de la IMSI de un abonado.
- Gestión de Llamadas: enrutamiento, gestión de llamadas en itinerancia, comprobación de que un abonado está disponible para recibir llamadas, servicios suplementarios, servicio de mensajes cortos.
- Protocolo de Datos por Paquetes (PDP) para servicios GPRS: información que permita el encaminamiento de las conexiones GPRS
- Situación Servicios de Gestión: obtención de la ubicación de abonado

### 2.3.2 Torre de Protocolos

En la siguiente Figura se muestra la torre de protocolos SS7 sobre la que se sustenta el protocolo MAP.

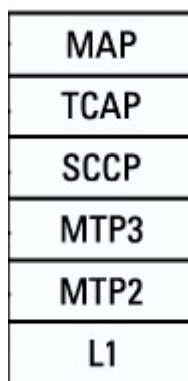


Figura 6. Torre de protocolos SS7

### **2.3.2.1 Parte de Transferencia de Mensajes**

La parte transferencia de mensajes (MTP) se divide en tres niveles:

- MTP Nivel 1: define las características físicas, eléctricas y funcionales del enlace de señalización digital.
- MTP Nivel 2: permite asegurar la transmisión, de extremo a extremo, de un mensaje a través de un enlace de señalización de forma fiable. En este nivel se implementan control de flujo, validación de secuencia del mensaje, y comprobación de errores.
- MTP Nivel 3: proporciona enrutamiento de mensajes entre puntos de señalización en la red SS7. Redirige el tráfico en el caso de encontrarse con enlaces caídos y establece puntos de señalización y control de tráfico cuando se produce congestión.

### **2.3.2.2 Conexión de señalización de la Parte de Control**

Proporciona entrega fiable de paquetes entre las estaciones finales en una red de telefonía, dirigiendo los mensajes a un tipo específico de dispositivo y manteniendo la secuencia correcta de paquetes.

### **2.3.2.3 Capacidades de transacción de la parte de aplicación (TCAP)**

Se utiliza para transportar MAP en las redes de telefonía móvil. Es un protocolo de señalización de la red SS7, cuyo objetivo principal es facilitar múltiples diálogos simultáneos entre subsistemas en las

mismas máquinas, usando identificadores de transacción para diferenciar estos, de forma similar a los puertos TCP, que facilitan conexiones de multiplexación entre las mismas direcciones IP en Internet.

### 2.3.3 Interfaces

Los interfaces objeto de nuestro estudio son los siguientes:

**Interfaz B:**

Maneja la señalización entre el MSC y el VLR. . Es utilizado por la MSC con el propósito de acceder a los datos relativos a un terminal móvil que se encuentra en su área. Por tratarse normalmente de interfaces internas no está normalizado, dejando las especificaciones al desarrollador del equipo.

**Interfaz C:**

Maneja la señalización entre el HLR y un GMSC o un SMSC. Se utiliza con el propósito de obtener la información de enrutamiento que se requiere para completar la llamada, que se origina fuera de la GSM.

**Interfaz D:**

Maneja la señalización entre el HLR y VLR. Se utiliza con el propósito de intercambiar los datos relacionados con la ubicación del terminal móvil así como una serie de datos de suscripción.

**Interfaz Gr:**

Maneja la señalización entre el HLR y la SGSN. Se utiliza con el propósito de intercambiar los datos relacionados con la ubicación del terminal móvil así como una serie de datos de suscripción.

## 2.3.4 Puntos de Referencia Principales

En este apartado nos centraremos únicamente en 8 puntos de referencias, los cuales son utilizados de forma análoga en el protocolo Diameter, que estudiaremos en apartados siguientes, y que nos servirá para la realización posterior de una comparativa entre ambos.

### Enviados por el VLR

- **Send Authentication Information o Envío de identificación:**

Con este mensaje el VLR informa al HLR que un terminal de su propiedad se está intentado registrar en la red, para lo que necesita que el HLR le envíe las "quíntuplas de autenticación" del terminal para poder verificar la identidad correcta del mismo, además de establecer un canal de comunicación seguro mediante las claves intercambiadas.

- **Update Location GPRS o actualización de la localización GPRS:**

Similar a la actualización de la localización en la que se informa al HLR que un terminal ha actualizado su ubicación en un nuevo VLR, pero en este caso es con un nuevo SGSN.

- **Purge o Purgado:**

Mensaje enviado desde el VLR hacia el HLR para indicar que los datos de un terminal han sido eliminados. Esto ocurre cuando un terminal ha estado inactivo durante un periodo prolongado de tiempo.

### Enviados por el HLR

- **Cancel-Location o Cancelación de Localización:**

Se utiliza para eliminar el perfil de un terminal del VLR anterior donde estaba registrado, tras el registro con un nuevo VLR, después de un "Update Location".

- **Insert-Subscription-Data o Inserción de datos del subscriptor:**

Con este mensaje el HLR informa al VLR o SGSN, sobre la inserción o actualización de alguno de los datos de suscripción del abonado.



- **Delete-Subscriber-Data o Borrado de datos del subscriptor:**

Con este mensaje el HLR informa al VLR o SGSN, sobre la eliminación de alguno de los datos de suscripción del abonado.

- **Reset o Reseteo:**

Con este mensaje el HLR informa al VLR que da de baja por algún tiempo al abonado.

- **Notification o Notificación:**

Con este mensaje el HLR informa a la SGSN de la dirección de la SGSN.

## 2.4 DIAMETER

Diameter es la evolución del protocolo Radius e inicialmente fue desarrollado para determinar si el usuario tiene permiso para conectarse a la red (Autenticación), usar un servicio particular (autorización) y para rastrear los recursos de red utilizados por usuarios finales para optimizar la facturación (contabilización), así como acceso de red, roaming y movilidad IP.

### 2.4.1 Función

El protocolo Diameter se estructura en torno a un protocolo de base llamado Diameter base estándar, definido en el RFC 3588, y un número de extensiones denominadas aplicaciones.

Entre las aplicaciones de Diameter más relevantes estandarizadas por IETF se encuentran: aplicación de un Servidor de Acceso a la Red (Network Access Server Application) que es una aplicación de Diameter para servicios AAA en el marco de control de acceso a redes, y Aplicación para Control de Crédito (Credit Control Application) que es una aplicación para la implementación de sistemas de tarificación on-line, como sistemas de pre-

pago. Además de IETF, otros organismos también pueden llevar a cabo la especificación de nuevas aplicaciones del protocolo, como es el caso de 3GPP.

Estas aplicaciones de Diameter se denominan como "vendor-specific" y se les asigna un identificador de aplicación a través de IANA (Internet Assigned Numbers Authority). Así pues, 3GPP ha definido varias aplicaciones "vendorspecific" para la implementación de diferentes interfaces del sistema mediante extensiones del protocolo Diameter.

## 2.4.2 Torre de Protocolos

En la siguiente figura se ilustra la torre de protocolos sobre la que se sustenta el protocolo Diameter.

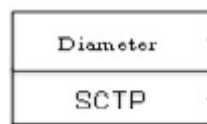


Figura 7. Torre de protocolos en Diameter

### 2.4.2.1 Capa de transporte SCTP

La transferencia de los mensajes Diameter entre nodos se realiza a través de un protocolo de comunicación de capa de transporte orientado a conexión como es SCTP, definido por el grupo SIGTRAN de la IETF (Internet Engineering Task Force) en el año 2000. Se encuentra especificado en las RFC 2960 y 3286.

#### Principales características de SCTP:

- Provee un servicio de transporte confiable, asegurando que los datos sean transportados en la red sin errores y entregados en orden. Detecta cuando se pierde, se desordena, se duplica o se corrompen los datos, retransmitiendo los datos dañados tanto como sea necesario.
- Orientado a los mensajes; permite el envío de datos de forma ordenada, como TCP, o desordenada, como UDP. Configura conexión entre los hosts

emisor-receptor antes de iniciar el flujo de datos.

- Se adapta a la tasa de transferencia, disminuyendo la velocidad de envío de datos en caso de congestión en la red
- Permite establecer asociaciones robustas entre dos extremos cada uno de los cuales puede ser alcanzado mediante más de una dirección de red. Hacia cada una de ellas se encaminan los mensajes de forma independiente de manera que, si una de las interfaces de red queda fuera de servicio, la comunicación no se ve afectada ya que el flujo de datos se redirige por una de las otras, si las hay.
- Cada asociación puede contener uno o más streams que permiten el envío de datos de forma independiente entre cada uno de ellos.
- Utiliza cookies durante el four-way handshake evitando ataques de denegación de servicio, tales como SYN flooding.
- No permite el cierre en un solo sentido

#### **2.4.2.2 Diameter Base**

Es el protocolo sobre el que se estructuran las aplicaciones Diameter.

##### **Principales características:**

- Utiliza protocolos de transportes fiables como es SCTP.
- Utiliza seguridad a nivel de transporte (IPSEC o TLS)
- Es un protocolo peer-to-peer en lugar de cliente-servidor: admite mensajes iniciados por el servidor.
- Utiliza un espacio de direcciones mayor para AVP (pares atributo-valor) e identificadores, 32 bits en lugar de 8.
- Admite ACK en el nivel de aplicación, definiendo métodos de fallo y máquinas de estado.

- Fácil de extender, pudiendo definirse nuevos comandos y atributos.
- Incluye una implementación básica de sesiones y control de usuarios.
- Descubrimiento dinámico de peers.
- Negociación de capacidades.
- Notificación de errores.
- Mejor compatibilidad con roaming.

### 2.4.3 Interfaces

El protocolo Diameter se utiliza en un elevado número de interfaces del sistema LTE.

Las interfaces del sistema LTE sobre las que se centrará nuestro estudio serán las siguientes:

#### Interfaz S13 (MME/SGSN- EIR)

La interfaz 13 permite la transferencia de información entre el equipo de registro de identidad EIR y los equipos de entidad del plano de control MME, descrita en la 3GPP TS 23.401, o el nodo de soporte GPRS SGSN, descrita en la 3GPP TS 23.060, para comprobar si un equipo utilizado por abonado es válido o no, a través del IMEI del terminal

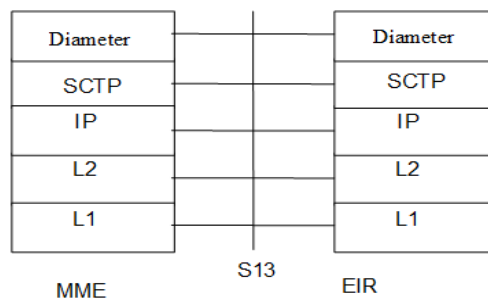


Figura 8. Interfaz S13. Diameter y SCTP

### Interfaces S6a/S6d (HSS – SGSN/MME)

Algunas veces las interfaces S6a / S6d se tratan por separado, pero en este estudio serán tratadas como una única interfaz debido a que ambas tienen el mismo identificador de aplicación.

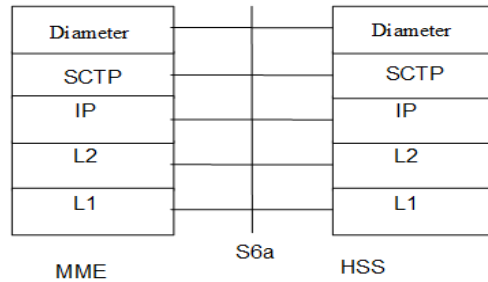


Figura 9. Interfaz S6a

La interfaz S6a permite la transferencia de información entre la base de datos HSS y la entidad del plano de control MME. También soporta escenarios de roaming (una entidad MME de la red de un operador puede acceder a la base de datos HSS de otro operador).

En cuanto a la interfaz S6d esta permite la transferencia de información entre la base de datos HSS y el nodo de soporte GPRS.

Dentro de las funciones que puede soportar la interfaz S6a, a continuación se mencionan las siguientes:

- A través de la interfaz S6a se actualiza la información en el HSS que contiene la identificación del MME que controla a los usuarios registrados en la red. Mediante esta interfaz se puede recuperar la información que se encontraba en el anterior MME y establecerla en el nuevo MME asignado.
- Transferencia de información de los datos de subscripción de los usuarios almacenada en la base de datos HSS al nodo MME correspondiente. En este caso la entidad MME puede autorizar o no la conexión de un usuario a una red externa en función de la lista de redes externas permitidas de acuerdo a la subscripción del usuario.
- Mediante la interfaz S6a es posible la autenticación de los usuarios en el MME correspondiente.

## 2.4.4 Puntos de Referencia.

Si bien dentro de los puntos de referencia existen multitud de mensajes de señalización, el estudio se va a centrar únicamente en ocho, (dejando el resto para estudios futuros), que corresponden con los mensajes que se intercambian entre MME/SGSN y HSS. Cuatro de ellos son invocados por el MME y otros cuatro invocados por HSS.

### **Invocados por la MME. De Autenticación**

- **Authentication Information Request o Petición de información de Autenticación:**

Invocado por el MME para recuperar los datos de autenticación de HSS para autenticar al suscriptor.

- **Update Location Request o Petición Actualización de la Localización:**

Invocado por el MME para almacena su propia identidad en el HSS y entregar los datos de suscripción del HSS.

- **Purge Request o Petición de Purgado:**

Invocado por el MME para informar al HSS que un abonado se encuentra en estado inactivo durante un largo período. El MME borra los datos de suscripción recibidos en el último ULR.

- **Notification Request o Petición de Notificación:**

Invocado por el MME para informa al HSS de la dirección almacenada del PDN.

### **Invocados por la HSS. Actualización localización**

- **Insert Subscription Data Request o Petición de Inserción de datos de suscripción:**

Invocado por el HSS cuando un usuario está conectado y hay un cambio en el perfil del suscriptor en HSS, para que el cambio se refleje en el perfil del suscriptor en el MME.

- **Delete Subscriber Data Request o Petición de Borrado de datos de suscripción:**

Invocado por el HSS cuando un usuario está conectado y algunos datos se borran al HSS para que el cambio se refleje en el perfil del suscriptor en el MME.

- **Cancel Location Request o Petición de Cancelación:**

Invocado por el HSS para eliminar al suscriptor.

- **Reset Request o Petición de reseteo:**

Invocado por el HSS, para informar al MME que el HSS da de baja por algún tiempo al suscriptor.

## 3 COMPARACIÓN 3G Y LTE

### 3.1. Introducción

En este capítulo se realiza un estudio comparativo entre la señalización 3G y LTE, tomando como referencia las operativas de los protocolos MAP y Diameter ,estudiadas en los apartados 2.3.4 y 2.4.2 respectivamente, del capítulo anterior.

De las ocho operativas estudiadas, el análisis comparativo se centrará únicamente en tres ellas; autenticación, actualización y cancelación, debido a que tras analizar la señalización en un entorno real (en 10 operadores móviles nacionales e internacionales), entre las tres acaparan en torno al 95% del tráfico de señalización, siendo la señalización de las operativas restantes prácticamente residual.

No será objeto de estudio los protocolos sobre los que se sustentan MAP y Diameter, estudiados en los apartados 2.3.4 y 2.4.4 respectivamente, por lo que no se tendrán en cuenta en el cómputo global, para los cálculos de los apartados posteriores, su ocupación en bytes.

Para la consecución del objetivo de estudio de este capítulo, se estructurará el análisis por tipo de operativa, analizando cada una de ellas en el contexto del protocolo utilizado y en base a una serie de medidas que se comentaran a continuación:

- **Definición de medidas**

- **Bytes Totales:** Número total de bytes utilizados por operativa, en base a los protocolos del estudio.
- **Bytes Útiles:** Número de bytes que contienen información imprescindible para la operativa.
- **Eficiencia:** En este estudio, el concepto de eficiencia será tratado como:  
$$\text{Número bytes útiles} * 100 / \text{Número de bytes totales}.$$



Se continuará con una comparativa por tipo de operación, finalizando con una conclusión final indicando los pros y los contras de cada uno de los protocolos del estudio.

Antes de iniciar este estudio comparativo, en el siguiente punto, se realizará una descripción general de la estructura de los protocolos Diameter y MAP, donde se incluirá el protocolo SCCP en la parte de MAP para observar la sobrecarga de bytes utilizado en el direccionamiento, debido a que el protocolo Diameter está estructurado de tal forma que contiene información esencial para el enrutamiento.

## 3.2 Estructura general protocolo SCCP/MAP.

Los mensajes de la parte control de la conexión de señalización (SCCP) son transmitidos entre la SCCP y la MTP por medio del parámetro de datos de usuario de la petición TRANSFERENCIA-MTP.

Esta primitiva, además del parámetro de datos de usuario, contiene cuatro parámetros con el siguiente contenido:

- **OPC:** consistentes en información equivalente a 14 bits, a cursar en la etiqueta de encaminamiento estándar de la MTP.
- **DPC:** consistentes en información equivalente a 14 bits, a cursar en la etiqueta de encaminamiento estándar de la MTP.
- **SLS:** consistentes en información equivalente a 4 bits. Si el servicio MTP "entrega en secuencias" de las SDU es obligatorio, la SCCP utilizará el mismo valor SLS para todas las SDU con el mismo control de secuencia y parámetros de dirección llamada.
- **SIO:** consistentes en información equivalente a 4 bits. Para la SCCP, la codificación del indicador de servicio es 0011 binario.

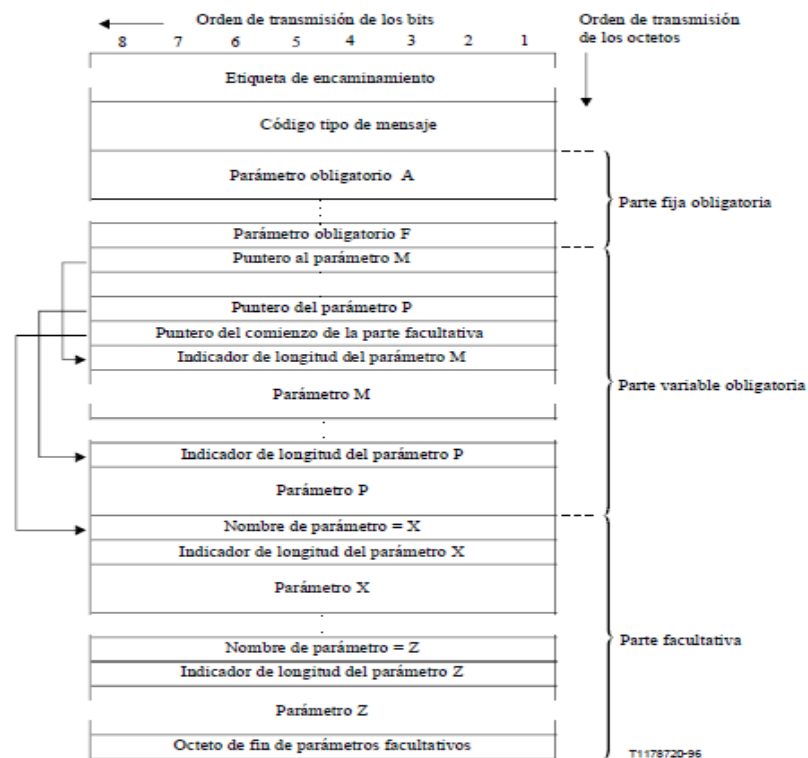
## Un mensaje SCCP consta de las siguientes partes:

### 1. El código tipo de mensaje.

El código de tipo de mensaje consiste en un campo con una longitud de un octeto, y es obligatorio para todos los mensajes. El código de tipo de mensaje define unívocamente la función y el formato de cada mensaje de la SCCP.

### 2. Formato del mensaje.

Cada mensaje contiene cierto número de parámetros y cada parámetro tiene un nombre, que puede ser representado por un solo octeto y en parámetros facultativos. La longitud de los parámetros puede ser fija o variable, y cada parámetro puede contener un "indicador de longitud", de un octeto, como se describe más adelante. El indicador de longitud del parámetro "datos largos" será de dos octetos, con el octeto menos significativo precediendo la transmisión del octeto más significativo.



En la figura 10. Muestra un formato de mensaje SCCP general.

### **3. La parte fija obligatoria.**

Contiene los parámetros que son obligatorios y de longitud fija para determinado tipo de mensaje. La posición, la longitud y el orden de los parámetros están definidos unívocamente para cada tipo de mensaje. Por ello, los nombres de los parámetros y los indicadores de longitud no están incluidos en el mensaje.

### **4. La parte variable obligatoria.**

La parte variable obligatoria contiene los parámetros obligatorios de longitud variable. El nombre de cada parámetro y el orden en que se envían los punteros están implícitos en cada tipo de mensaje. Por ello, los nombres de los parámetros no están incluidos en el mensaje. Se utiliza un puntero para indicar el comienzo de cada parámetro. Debido a ello los parámetros pueden enviarse en orden diferente a los punteros. Cada puntero está codificado en un solo octeto o en dos octetos en el caso de dato unidad largo (LUDT) o servicio de dato unidad largo (LUDTS). En el caso del puntero de dos octetos, el octeto menos significativo será transmitido antes que el octeto más significativo. El número de parámetros y, por tanto, el número de punteros están definidos unívocamente por el tipo de mensaje.

Se incluye también un puntero que indica el comienzo de la parte facultativa. Este puntero no aparecerá si el tipo de mensaje indica que no se permite una parte facultativa. Si el tipo de mensaje indica que es posible una parte facultativa, pero no existe tal parte facultativa en un determinado mensaje, se utilizará un campo de puntero codificado con todos ceros.

Todos los punteros se envían consecutivamente al comienzo de la parte variable obligatoria. Cada parámetro contiene el indicador de longitud de parámetro seguido por el contenido del parámetro.

Todos los punteros que indiquen el comienzo de cada parámetro variable obligatorio y el comienzo de la parte facultativa asegurarán la contigüidad de los parámetros en el nodo de origen; no se dejan "fisuras" entre parámetros al generar los mensajes. El tratamiento de las "fisuras" en el lado receptor se especifica en el documento de la Q.714. No deben generarse fisuras entre el último puntero y el primer parámetro variable

obligatorio. No deben añadirse octetos externos después del último parámetro. Todos los casos anteriores no determinarán un error de protocolo.

## **5. Parte facultativa**

La parte facultativa está formada por un bloque de parámetros contiguos que pueden o no estar presentes en un tipo dado de mensaje cualquiera. La parte facultativa puede empezar después del puntero o después de la parte variable obligatoria. Pueden estar incluidos parámetros de longitud fija y parámetros de longitud variable. Los parámetros facultativos pueden transmitirse en cualquier orden. Cada parámetro facultativo incluirá el nombre del parámetro (un octeto) y el indicador de longitud (un octeto), seguido del contenido del parámetro.

## **6. Octeto de fin de parámetros facultativos**

Después de haberse enviado todos los parámetros facultativos, se transmite un octeto de fin de parámetros facultativos todo ceros. Este octeto sólo se incluye si el mensaje tiene parámetros facultativos. El octeto de fin de parámetros facultativos no se debería utilizar para detectar el fin de los mensajes.

## **7. Orden de transmisión**

Puesto que todos los parámetros constan de un número entero de octetos, los formatos se representan mediante una pila de octetos. El primer octeto transmitido es el de la parte superior de la pila y el último el de la parte inferior.

## **8. Codificación de los bits de reserva**

Según las reglas generales definidas en UIT-T Q.700 y Q.1400, los bits de reserva se codifican con 0 mientras no se indique otra cosa en los nodos de origen. El tratamiento de los campos de reserva se especifica en la Q.714.

## **9. Parámetros y tipos de mensajes nacionales**

Si en el uso nacional se necesitan códigos de parámetros y códigos de tipo de mensaje, se sugiere seleccionar los códigos del más alto hacia el más

bajo, es decir, comenzando con el código 11111110. El código 11111111 se reserva para un uso futuro.

## 10. Parámetros y tipos de mensajes internacionales

En el uso internacional se necesitan códigos de tipos de mensajes y códigos de parámetros. Dichos códigos se seleccionan partiendo de los valores de código más bajos hacia los más altos, es decir, comenzando con el código 00000000. Se señala que los códigos especiales, aplicables al uso internacional, se especifican en las subcláusulas pertinentes correspondientes.

### Parámetros de la SCCP

#### 1. Fin de parámetros facultativos

Consta de un solo octeto codificado todos a ceros.

#### 2. Referencia local de destino

Es un campo de tres octetos que contiene un número de referencia que, en mensajes salientes, ha sido atribuido a la sección de conexión por el nodo distante.

#### 3. Referencia local de origen

Es un campo de tres octetos que contiene un número de referencia generado y utilizado por el nodo local para identificar la sección de conexión después del establecimiento de dicha sección.

#### 4. Dirección de la parte llamada

Es un parámetro de longitud variable. Su estructura se muestra a continuación:

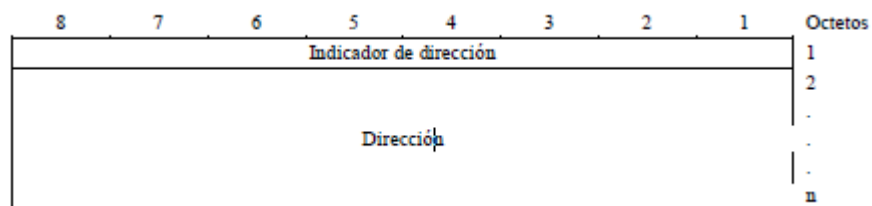


Figura 11. Dirección de la parte llamada/llamante.

## 5. Indicador de dirección

Indica el tipo de información de dirección contenido en el campo de dirección. La dirección consta de uno de los elementos que se indican a continuación o cualquier combinación de los mismos:

- Código de punto de señalización.
- Título global (por ejemplo, cifras marcadas).
- Número de subsistema.

8	7	6	5	4	3	2	1
Reservado para uso nacional	Indicador de encaminamiento	Indicador de título global				Indicador de número de subsistema	Indicador de código de punto

Figura 12. Codificación del indicador de la llamada

Un "1" en el bit 1 indica que la dirección contiene un código de punto de señalización.

Un "1" en el bit 2 indica que la dirección contiene un número de subsistema.

Los bits 3 a 6 del octeto indicador de dirección contienen el indicador del título global (GTI).

El bit 7 del octeto contiene información sobre encaminamiento que identifica el elemento de dirección que se ha de utilizar para el encaminamiento.

El bit 8 del octeto indicador de dirección está reservado para uso nacional y se pone siempre a cero en la red internacional.

## 6. Dirección.

Los diversos elementos, cuando se proporcionan, aparecen en el orden siguiente: código de punto de señalización, número de subsistema y título global.

Se sugiere que la dirección de la parte llamada contenga un número de subsistema. De esta manera se simplifica el formato del mensaje tras la

traducción de título global.

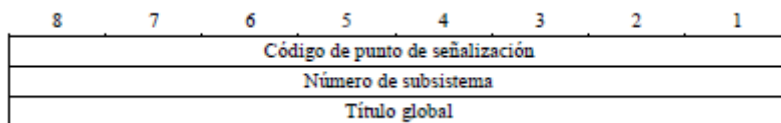


Figura 13. Ordenación de los elementos de dirección

## 7. Código de punto de señalización

El código de punto de señalización, cuando se proporciona, se representa mediante dos octetos. Los bits 7 y 8 del segundo octeto se ponen a cero.

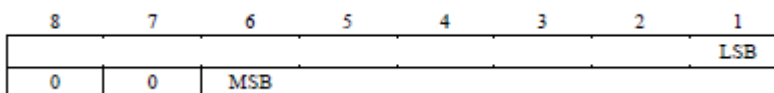


Figura 14. Codificación del código del punto de señalización

## 8. Número de subsistema

El número de subsistema (SSN) identifica una función de usuario de la SCCP y, cuando se proporciona, consta de un octeto.

## 9. Título global

El formato del título global (GT) es de longitud variable.

## 10. Dirección de la parte llamante

Es un parámetro de longitud variable. Su estructura es la misma que la de la "dirección de la parte llamada".

Por razones de compatibilidad con versiones anteriores, una SCCP debe poder recibir y/o transferir un mensaje dato unidad (UDT) en el que el parámetro dirección de la parte llamante consiste solamente en el octeto indicador sin conexión de dirección con los bits 1 a 7 codificados todos como cero. No obstante, se recomienda que el punto de origen no codifique el octeto de dirección de la parte llamante de manera tal que los bits 1 a 7 sean todos ceros. Se recomienda que se facilite mayor información (GT y/o SSN).

**11. Clase de protocolo**

Tiene una longitud de un octeto.

**12. Clase de protocolo**

Tiene una longitud de un octeto. El bit 1 se utiliza para la indicación más datos y está estructurado como se indica a continuación:

- 0: no más datos;
- 1: más datos.

**13. Número secuencial en recepción**

Tiene una longitud de un octeto. Los bits 8 a 2 contienen el número secuencial en recepción P(R) utilizado para indicar el número secuencial del mensaje siguiente esperado. P(R) se codifica en binario y el bit 2 es el menos significativo. El bit 1 es un bit de reserva.

**14. Secuenciación/segmentación**

Consta de dos octetos y está estructurado como se indica a continuación:

Los bits 8 a 2 del octeto 1 se utilizan para indicar el número secuencial en emisión P(S). Este se codifica en binario y el bit 2 es el menos significativo.

El bit 1 del octeto 1 es un bit de reserva.

Los bits 8 a 2 del octeto 2 se utilizan para indicar el número secuencial en recepción P(R). Este se codifica en binario y el bit 2 es el menos significativo.

El bit 1 del octeto 2 se utiliza para la indicación más datos y se codifica como sigue:

- 0: no más datos;
- 1: más datos.

**15. Crédito**

Está constituido por un octeto y se utiliza en los protocolos de clase 3 que incluyen funciones de control de flujo. Contiene el valor del tamaño de la ventana codificado en binario puro.



**16. Causa de la liberación**

Consta de un octeto y contiene el motivo de la liberación de la conexión.

**17. Causa de devolución**

En el mensaje servicio de dato unidad, servicio de dato unidad ampliado o servicio de dato unidad largo, el campo del parámetro "causa de devolución" consta de un octeto que contiene la razón de la devolución del mensaje.

**18. Causa de la reiniciación**

Consta de un octeto y contiene el motivo de la reiniciación de la conexión.

**19. Causa de error**

Consta de un octeto y contiene la indicación precisa del error de protocolo.

**20. Causa de rechazo**

Consta de un octeto y contiene el motivo por el cual se rechazó la conexión.

**21. Datos**

Es un campo de longitud variable que contiene 255 octetos o menos de datos de usuario de la SCCP que se han de transmitir transparentemente entre las funciones de usuario de la SCCP.

**22. Segmentación**

Consta de cuatro octetos.

**23. Contador de saltos**

Consta de un octeto. El valor del contador de saltos, que se decrementa en cada traducción de título global, debe estar en la gama de 15 a 1.

**24. Importancia**

Tiene una longitud de un octeto y está estructurado como se indica a

continuación:

Los bits 1 a 3 están codificados para indicar la importancia de los mensajes. Los valores varían entre 0 y 7, indicando el valor 0 mensaje de menos importancia y el valor 7 el mensaje de más importancia.

Los bits 4 a 8 son bits de reserva.

Los valores de importancia pueden estar sujetos a mejora en función del análisis posterior de la incidencia de los procedimientos de control de congestión SCCP en diferentes escenarios de red y sobre la base de los resultados de las experiencias de funcionamiento.

## 25. Datos largos

Es un campo de longitud variable que contiene hasta 3952 octetos de datos de usuario que se han de transferir transparentemente entre las funciones de usuario de la SCCP. Tiene un campo "indicador de longitud" de dos octetos.

## 3.3 Estructura general protocolo Diameter.

Un mensaje Diameter está formado por un encabezado que ocupa 20 octetos, seguido por una cantidad variable de AVPs.

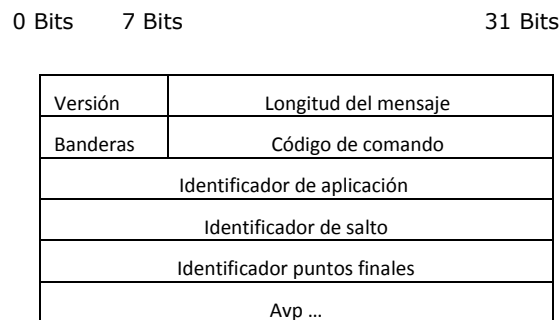


Figura 15: Estructura de un mensaje Diameter

1. Versión: De tamaño 1 octeto. Indica la versión Diameter. Debe fijarse a 1, debido a que es la versión actual de Diameter.
2. Longitud del mensaje: De tamaño 3 octetos. Indica la longitud del mensaje, incluyendo la cabecera y los AVPs.
3. Banderas: De tamaño 1 octeto. Cada bit del octeto corresponden a una característica del mensaje, según el siguiente esquema:

```

0 1 2 3 4 5 6 7
+ - + - + - + - +

```

|R P E T r r r r|  
 +--+--+--+--+--+--+

1. R: Petición, si está a 1, el mensaje es una petición
  2. P: Proxiable, si está a 1, el mensaje puede ser procesado por un Proxy, Relay o Redirección, si no, el mensaje debe obligatoriamente procesarse localmente.
  3. E: Error, si está a 1 el mensaje contiene AVPs que indican errores.
  4. T: Mensaje potencialmente duplicado: Indica que el mensaje está siendo retransmitido por no haber recibido un Ack para el mismo, y que, por lo tanto, es posible que se trate de un mensaje duplicado.
  5. r: reservados. Son banderas reservadas para uso futuro y deben estar fijados a 0 y ser ignorados por el receptor.
4. Código de comando: De tamaño 3 octetos. Indica el código del comando Diameter usado. Este espacio de direcciones que representan el código es manejado y asignado por IANA.

Código	Nombre del comando	Abreviatura
316	3GPP-Update-Location-Request	ULR
316	3GPP-Update-Location-Answer	ULA
317	3GPP-Cancel-Location-Request	CLR
317	3GPP-Cancel-Location-Answer	CLA
318	3GPP-Authentication-Information-Request	AIR
318	3GPP-Authentication-Information-Answer	AIA
319	3GPP-Insert-Subscriber-Data-Request	IDR
319	3GPP-Insert-Subscriber-Data-Answer	IDA
320	3GPP-Delete-Subscriber-Data-Request	DSR
320	3GPP-Delete-Subscriber-Data-Answer	DSA
321	3GPP-Purge-UE-Request	PUR
321	3GPP-Purge-UE-Answer	PUA
322	3GPP-Reset-Request	RSR
322	3GPP-Reset-Answer	RSA
323	3GPP-Notify-Request	NOR
323	3GPP-Notify-Answer	NOA

Tabla 1. Códigos Diameter para la interface S6.

5. Identificador de aplicación: De tamaño 4 octetos. Identifica la aplicación Diameter que es aplicable al mensaje en cuestión. Hay códigos asignados por IANA y otros son propietarios de los fabricantes.
6. Identificador de salto a salto: De tamaño 4 octetos. Es utilizado para unir las respuestas y las peticiones. Debe ser único para cada conexión y para cada instante de tiempo, además de serlo también para los posibles re-arranques de la comunicación.

7. Identificador final a final: De tamaño 4 octetos. Es utilizado para detectar mensajes duplicados. Los 12 primeros bits son una marca de tiempo y los otros 20 bits son un número aleatorio. Este identificador es único y debe perdurar durante los siguientes 4 minutos incluso si hay re-arranques en la comunicación. Nunca debe ser modificado por agentes de ningún tipo. Los mensajes duplicados detectados con este campos serán descartados silenciosamente
8. AVP: contiene todos los datos relevantes para el mensaje Diameter en función de la aplicación Diameter que se esté usando.

Cada AVP tiene una estructura y una función que dependen de su definición, no obstante siguen una estructura general, formado por un encabezado de 12 octetos, seguidos por los datos del AVP que son de longitud variable:

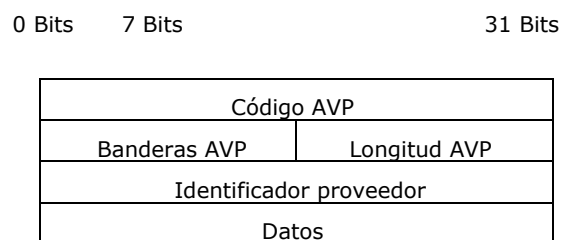


Figura 16: Estructura de un AVP en Protocol Diameter Base

- Código AVP: Identifica el AVP de manera inequívoca, cabe destacar que los códigos desde el 0 al 256 están reservados para la compatibilidad con RADIUS.

Para el organismo 3GPP se asignaron los códigos de AVP del 1400 al 1491.

- Banderas (Flags):
  1. V : Indica si el campo opcional Vendor-ID está incluido o no en el AVP
  2. P: Indica la necesidad de cifrado de extremo a extremo.
  3. M: Indica si el campo es obligatorio, es decir, si el AVP debe ser soportado por los Peers que intervengan en la conexión.
  4. R: Son bits reservados para su uso futuro que deben ser fijados a 0 e ignorados por el receptor.
- Longitud AVP: longitud del AVP. 3 octetos incluyendo la cabecera.
- ID del proveedor: Este campo es opcional. Sirve para enrutamiento interno dentro del servidor de aplicaciones propias del servidor. IANA asignó al 3GPP el Vendor Id 10415.

- **Data:** El campo Data tiene 0 o más octetos y contiene información adicional y específica del AVP, debiendo ser uno de los tipos de datos definidos en el protocolo Base Diameter RFC-6733.

Cabe destacar que el protocolo Diameter permite valores AVP de tipo "Agrupado", lo que implica que el campo de datos es en realidad una secuencia de AVPs, siendo posible incluir una AVP con un tipo agrupados dentro de un tipo Agrupados, existiendo anidación entre ellos.

Esta anidación conlleva una limitación y es que si alguno de los AVPs encapsulados dentro de un AVP agrupados tiene la 'M' (obligatorio) en estado activo, el propio AVP agrupados debe incluir también el bit 'M' como activo.

Cada AVP perteneciente al grupo, tienen los mismo requisitos de relleno como si no estuviesen agrupados, lo que provoca una pérdida de eficiencia al tener duplicaciones de sus cabeceras.

## 3.4 Datos a comparar

En los apartados anteriores, se han detallado los distintos campos que componen los protocolos del estudio en cuestión, así como las longitudes de estos. Estas longitudes son las que conformarán la longitud total de las operativas del estudio, teniendo en cuenta que en la parte de MAP se incluirá el protocolo SCCP, para poder equipararlo en longitud y contenido con el protocolo Diameter que incluye implícitamente el direccionamiento.

En base a esta longitud total se calculará la eficiencia de cada operativa, en función de una serie de campos esenciales que serán comunes tanto para 3G como para LTE.

Para ello, se han tomado trazas de señalización en entornos reales, adjuntándose en cada operativa una imagen de la misma.

## 3.5 Comparativa de Operativas

En este punto se procederá a la comparación, de forma cuantitativa, de las operativas estudiadas con anterioridad. Para ello, con cada operativa se analizará la eficiencia de forma separada para la petición y la respuesta, así como de forma conjunta.

Se comprobará como en LTE las operativas tienen un mayor consumo de bytes, debido al uso que hace el protocolo Diameter de la estructura de AVPs y en

```
Stream Control Transmission Protocol, Src Port: diameter (3868), Dst Port: diameter (3868)
  Diameter Protocol
    Version: 0x01
    Length: 436
    Flags: 0xc0
    Command Code: 318 3GPP-Authentication-Information
    ApplicationId: 3GPP 56a/56d (16777251)
    Hop-by-Hop Identifier: 0x0e60131e
    End-to-End Identifier: 0x19e6fb98
    AVP: Session-Id(263) l=85 f=M- val=...3gppnetwork.org;0;1421875051;24208857
    AVP: Vendor-Specific-Application-Id(260) l=32 f=M-
    AVP: Origin-Host(264) l=62 f=M- val=...3gppnetwork.org
    AVP: Origin-Realm(296) l=41 f=M- val=...3gppnetwork.org
    AVP: Destination-Host(293) l=47 f=M- val=...3gppnetwork.org
    AVP: Destination-Realm(283) l=41 f=M- val=...3gppnetwork.org
    AVP: User-Name(1) l=23 f=M- val=...2776
    AVP: Requested-EUTRAN-Authentication-Info(1408) l=44 f=VM- vnd=TGPP
    AVP: Visited-PLMN-Id(1407) l=15 f=VM- vnd=TGPP val=12f470
    AVP: Auth-Session-State(277) l=12 f=M- val=NO_STATE_MAINTAINED (1)
```

Petición	Totales (bytes)	Útiles (bytes)	Eficiencia (%)	Campos útiles
1	436	22	5,04587156	IMSI (15 bytes) Nº vectores (4 bytes) PLMN (3 bytes)

Tabla 2. Petición Información de Autenticación LTE

La operativa de respuesta está compuesta por un total de 368 bytes, de los cuales 120 bytes, contienen información esencial para el registro. La eficiencia en este caso se eleva a un 32.6%.

**Traza analizada:**

[illegible]

Respuesta	Totales (bytes)	Útiles (bytes)	Eficiencia (%)	Campos útiles
1	368	120	32,60869565	Rand(28) Xres(20) Ck(28) Kasme(44)

Tabla 3. Respuesta Información de Autenticación LTE

La operativa conjunta, petición y respuesta, está compuesta por un total de 804 bytes, de los cuales 142 bytes, contienen información esencial para el registro. La eficiencia en este caso es de un 17.6%.

Petición + Respuesta	Totales (bytes)	Útiles (bytes)	Eficiencia (%)
1	804	142	17,66169154

Tabla 4. Petición/Respuesta Información de Autenticación LTE

En SCCP/MAP la operativa de petición está compuesta por un total de 102 bytes, de los cuales únicamente 9 bytes contienen información esencial para el registro. La eficiencia en este caso es de un 8,82%.

#### Traza analizada:

```

+ Signalling Connection Control Part
+ Transaction Capabilities Application Part
- GSM Mobile Application
  - Component: invoke (1)
    - invoke
      - invokeID: 1
      - opCode: localvalue (0)
        - localvalue: sendAuthenticationInfo (56)
          - imsi: 12345678901234567890
          - TBCD digits: 140.7020.000.
          - numberOfRequestedVectors:
          - requestingNodeType: sgsn (1)

```

Petición	Totales (bytes)	Útiles (bytes)	Eficiencia (%)	Campos Útiles
1	102	9	8,823529412	IMSI (8) nº vectores(1)

Tabla 5. Respuesta Información de Autenticación 3G

La operativa de respuesta está compuesta por un total de 187 bytes, de los cuales 72 bytes contienen información esencial para el registro. La eficiencia en este caso es de un 38.50%.



**Traza analizada:**

```

+ Signalling Connection Control Part
+ Transaction Capabilities Application Part
+ GSM Mobile Application
  + Component: returnResultLast (2)
    + returnResultLast
      + invokeID: 1
      + resultretres
        + opCode: localValue (0)
          localvalue: sendAuthenticationInfo (56)
        + authenticationSetList: quintupletList (1)
          + quintupletList: 1 item
            + AuthenticationQuintuplet
              rand: 31ed8777 22000001 c9453b3c
              xres: 7 234 000 00000000 30366144
              ck: 7 234 000 00000000 30366144
              ik: 51 000 000 000e4 0f 4d67370
              autn: 3474 f0000 0000 0e76

```

Respuesta	Totales (bytes)	Útiles (bytes)	Eficiencia (%)	Campos útiles
1	187	72	38,5026738	rand (16 bytes) xres (8 bytes) ck (16 bytes) ik (16 bytes) aut (16 bytes)

Tabla 6. Respuesta Información de Autenticación 3G

La operativa conjunta, petición y respuesta, está compuesta por un total de 289 bytes, de los cuales 81 bytes contienen información esencial para el registro. La eficiencia en este caso es de un 28.3%.

Peticion + Respuesta	Totales (bytes)	Útiles (bytes)	Eficiencia (%)
1	289	81	28,02768166

Tabla 7. Petición/Respuesta Información de Autenticación 3G

**Comparativa**

En función de los campos estudiados, se obtienen las siguientes conclusiones:

- **Bytes Totales:** En LTE la cantidad de bytes utilizados en la operativa de autenticación (petición y respuesta) es 2.77 veces superior con respecto a 3G. Este incremento significativo de bytes utilizados en LTE viene motivado, en su mayoría, por la estructura de AVPs que determina el

protocolo Diameter, en el que las etiquetas de los campos tienen un tamaño prefijado. En contraposición 3G, donde el protocolo MAP, al crearse específicamente para las comunicaciones móviles, ajusta más los bytes utilizados, aunque ello le limite a la hora de ser escalable y ajustarse a nuevas especificaciones.

- **Bytes Útiles:** En LTE la cantidad de bytes útiles en la operativa de autenticación (petición y respuesta) es 1.75 veces superior con respecto a 3G. Si bien los datos útiles en ambas tecnologías son los mismos, en LTE se comprueba que consumen más bytes debido a la estructura de AVPs.
- **Eficiencia:** En LTE la eficiencia de la operativa de autenticación (petición y respuesta) es 1.64 veces inferior con respecto a 3G. Aunque la eficiencia es menor en LTE, el protocolo Diameter es más versátil, pudiéndose amoldar a cambios en un futuro sin necesidad de realizar cambios en el protocolo, en contraposición a MAP, donde como se ha comentado es un protocolo rígido y no escalable.

### 3.5.2 Actualización de localización.

En esta operativa la información esencial está compuesta por los siguientes campos:

- Identificador del abonado a registrar.
- Red donde se encuentra el abonado.
- Identificador del terminal del abonado a registrar.

En LTE la operativa de petición está compuesta por un total de 536 bytes, de los cuales únicamente 33 bytes contienen información esencial para la localización. La eficiencia en este caso es muy baja, únicamente un 6.15%.

**Traza analizada:**

```

Stream Control Transmission Protocol, Src Port: diameter (3868), Dst Port: diameter (3868)
Diameter Protocol
  Version: 0x01
  Length: 536
  Flags: 0xc0
  Command Code: 316 3GPP-Update-Location
  ApplicationId: 3GPP S6a/S6d (16777251)
  Hop-by-Hop Identifier: 0x0f5011
  End-to-End Identifier: 0x00000000
  AVP: Session-Id(263) l=85 f=M- val=...
  AVP: Vendor-Specific-Application-Id(260) l=32 f=M-
  AVP: Origin-Host(264) l=62 f=M- val=...
  AVP: Origin-Realm(296) l=41 f=M- val=...
  AVP: Destination-Host(293) l=47 f=M- val=...
  AVP: Destination-Realm(283) l=41 f=M- val=...
  AVP: User-Name(1) l=23 f=M- val=...
  AVP: Supported-Features(628) l=56 f=V- vnd=TGPP
  AVP: Terminal-Information(1401) l=56 f=VM- vnd=TGPP
  AVP: RAT-Type(1032) l=16 f=VM- vnd=TGPP val=EUTRAN (1004)
  AVP: ULR-Flags(1405) l=16 f=VM- vnd=TGPP val=71
  AVP: Visited-PLMN-Id(1407) l=15 f=VM- vnd=TGPP val=12f470
  AVP: Auth-Session-State(277) l=12 f=M- val=NO_STATE_MAINTAINED (1)

```

Petición	Totales (bytes)	Útiles (bytes)	Eficiencia (%)	Campos útiles
1	536	33	6,156716418	IMSI (15 Bytes) PLMN (3 Bytes) IMEI (15 Bytes)

Tabla 8. Petición de actualización LTE

La operativa de respuesta está compuesta por un total de 620 bytes, de los cuales 238 bytes contienen información esencial para la localización. La eficiencia en este caso es de un 38.38%.

**Traza analizada:**

```

Stream Control Transmission Protocol, Src Port: diameter (3868), Dst Port: diameter (3868)
Diameter Protocol
  Version: 0x01
  Length: 620
  Flags: 0x40
  Command Code: 316 3GPP-Update-Location
  ApplicationId: 3GPP S6a/S6d (16777251)
  Hop-by-Hop Identifier: 0x00000000
  End-to-End Identifier: 0x00000000
  AVP: Session-Id(263) l=85 f=M- val=...
  AVP: Origin-Host(264) l=47 f=M- val=...
  AVP: Origin-Realm(296) l=41 f=M- val=...
  AVP: Result-Code(268) l=12 f=M- val=DIAMETER_SUCCESS (2001)
  AVP: Subscription-Data(1400) l=380 f=VM- vnd=TGPP
    AVP code: 1400 Subscription-Data
    AVP Flags: 0xc0
    AVP Length: 380
    AVP Vendor Id: 3GPP (10415)
    Subscription-Data: ...
    AVP: Subscriber-Status(1424) l=16 f=VM- vnd=TGPP val=SERVICE_GRANTED (0)
    AVP: MSISDN(701) l=18 f=VM- vnd=TGPP val=...
    AVP: Network-Access-Mode(1417) l=16 f=VM- vnd=TGPP val=PACKET_AND_CIRCUIT (0)
    AVP: APN-Orig-Replacement(1427) l=30 f=VM- vnd=TGPP val=...
    AVP: AMBR(1435) l=44 f=VM- vnd=TGPP
    AVP: RAT-Frequency-Selection-Priority-ID(1440) l=16 f=VM- vnd=TGPP val=1
    AVP: APN-Configuration-Profile(1429) l=224 f=VM- vnd=TGPP
  AVP: ULA-Flags(1406) l=16 f=VM- vnd=TGPP val=0
  AVP: Auth-Session-State(277) l=12 f=M- val=NO_STATE_MAINTAINED (1)

```

Respuesta	Totales (bytes)	Útiles (bytes)	Eficiencia (%)	Campos útiles
1	620	238	38,38709677	MSISDN(6 Bytes) SubscriberStatus (4 Bytes) NetworkAccessMode (4 Bytes) Pdp-context (224 Bytes)

Tabla 9. Respuesta de actualización LTE

La operativa conjunta, petición y respuesta, está compuesta por un total de 1156 bytes, de los cuales 271 bytes contienen información esencial para la localización. La eficiencia en este caso es de un 23.44%.

Petición + Respuesta	Totales (bytes)	Útiles (bytes)	Eficiencia (%)
1	1156	271	23,44290657

Tabla 10. Petición/Respuesta de actualización LTE

En SCCP/MAP la operativa de petición está compuesta por un total de 117 bytes, de los cuales 18 bytes contienen información esencial para la localización. La eficiencia en este es de un 15.38%.

#### Traza analizada:

```

+ Transaction Capabilities Application Part
+ GSM Mobile Application
+ Component: invoke (1)
+ invoke
+   invokeID: 1
+   opcode: localvalue (0)
+   imsi: 0000000000000000
+   TBCD digits: 003000000001
+   sgsn-Number: 0000000000000000
+   sgsn-Address: 0000000000000000
+   GSN-Address IPv4: 21.11.3.2.5 (2.1.2.1)
+   sgsn-Capability

```

Petición	Totales (bytes)	Útiles (bytes)	Eficiencia (%)	Campos útiles
1	117	18	15,38461538	IMSI (8) SGSN Number (6) SGSN Address (4)

Tabla 11. Petición de actualización 3G

La operativa de respuesta está compuesta por un total de 233 bytes,

de los cuales 61 bytes contienen información esencial para la localización. La eficiencia en este caso es de un 26.18%. En la respuesta se envía la operativa inserción de datos de suscripción.

### Traza analizada:

```

+ Signalling Connection Control Part
+ Transaction Capabilities Application Part
+ GSM Mobile Application
  + Component: invoke (1)
    + invoke
      + invokeID: 1
      + opcode: localValue (0)
      + msisdn: 0000 0000 0000
      + subscriberStatus: serviceGranted (0)
      + gprsSubscriptionData
        + completeDataListIncluded
          + gprsDataList: 1 item
            + PDP-Context
              + pdp-ContextId: 1
              + pdp-Type: f121
              + ... 0001 = PDP Type Organization: IETF (0x01)
              + qos-Subscribed: 23931f
              + 00.. .... = Spare bit(s): 0
              + ...10 0... = Quality of Service Delay class: Delay class 4 (best effort) (4)
              + .... .011 = Reliability class: Unacknowledged GTP/LLC, Ack RLC, Protected data (3)
              + 1001 .... = Peak throughput: Up to 256 000 octet/s (9)
              + .... 0... = Spare bit(s): 0
              + .... .011 = Precedence class: Low priority (3)
              + 000. .... = Spare bit(s): 0
              + ...1 1111 = Mean throughput: Best effort (31)
              + apn: 0f69626b.00000000.00000000.00000000.00000000.00000000.00000000.00000000
              + ext-QoS-Subscribed: 01739f.00000000.00000000.00000000
              + .... 0100 .... = pdp-ChargingCharacteristics: P (Prepaid service) (4)
            + networkAccessMode: packetAndCircuit (0)

```

Respuesta	Totales (bytes)	Útiles (bytes)	Eficiencia (%)	Campos útiles
1	233	61	26,18007296	Hlr Number (6) MSISDN (6) NetworkAccessMode (1) Estado (1) PDP-context (47)

Tabla 12. Respuesta de actualización 3G

La operativa conjunta, petición y respuesta, está compuesta por un total de 61 bytes, de los cuales 24 bytes contienen información esencial para el registro. La eficiencia en este caso es de un 39.34%.

Petición + Respuesta	Totales (bytes)	Útiles (bytes)	Eficiencia (%)
1	350	79	22,57142857

Tabla 13. Petición/Respuesta de actualización 3G

### Comparativa

- **Bytes Totales:** En LTE la cantidad de bytes utilizados en la operativa de

actualización (petición y respuesta) es 3.30 veces superior con respecto a 3G. Este incremento significativo de bytes utilizados en LTE viene motivado, en su mayoría, por la estructura de AVPs que determina el protocolo Diameter, en el que las etiquetas de los campos tienen un tamaño prefijado. En contraposición 3G, donde el protocolo MAP, al crearse específicamente para las comunicaciones móviles, ajusta más los bytes utilizados, aunque ello le limitó a la hora de ser escalable y ajustarse a nuevas especificaciones.

- **Bytes Útiles:** En LTE la cantidad de bytes útiles en la operativa de actualización (petición y respuesta) es 3.43 veces superior con respecto a 3G. Si bien los datos útiles en ambas tecnologías son los mismos, en LTE se comprueba que consumen más bytes debido a la estructura de AVPs.
- **Eficiencia:** En este caso, ambas operativas (petición y respuesta) tienen prácticamente la misma eficiencia tanto en 3G como en LTE. Esta eficiencia será mayor en LTE con respecto a 3G, en la medida en la que el suscriptor tenga provisionados más de un contexto para navegar. Este hecho es debido a que para el segundo contexto, en 3G se debe de mandar una operativa de inserción de datos de suscripción por cada contexto, con su respectiva respuesta, por el contrario, en LTE es suficiente con incluir un AVP en la misma operativa indicando este segundo contexto.

### 3.5.3 Cancelación

En esta operativa la información esencial está compuesta por los siguientes campos:

- Identificador del terminal del abonado a registrar.
- Tipo de cancelación

En LTE la operativa de petición está compuesta por un total de 424 bytes, de los cuales únicamente 29 bytes contienen información esencial para la cancelación. La eficiencia en este caso es muy baja, únicamente un 4.48%.

**Traza analizada:**

```

Stream Control Transmission Protocol, Src Port: diameter (3868), Dst Port: diameter (3868)
Diameter Protocol
  Version: 0x01
  Length: 424
  Flags: 0xc0
  Command Code: 317 3GPP-Cancel-Location
  ApplicationId: 3GPP S6a/S6d (16777251)
  Hop-by-Hop Identifier: 0x0ea...
  End-to-End Identifier: 0x...d62e
  AVP: Session-Id(263) l=72 f=-M- val=...14.3gppnetwork.org;34...001;2ED68F32
  AVP: Origin-Host(264) l=47 f=-M- val=...14.3gppnetwork.org
  AVP: Origin-Realm(296) l=41 f=-M- val=...3gppnetwork.org
  AVP: Destination-Realm(283) l=41 f=-M- val=...3gppnetwork.org
  AVP: Destination-Host(293) l=62 f=-M- val=...3gppnetwork.org
  AVP: Vendor-Specific-Application-Id(260) l=32 f=-M-
  AVP: User-Name(1) l=23 f=-M- val=214...59 00
  AVP: Cancellation-Type(1420) l=16 f=VM- vnd=TGPP val=UPDATE_PROCEDURE (3)
  AVP: Route-Record(282) l=47 f=-M- val=...3gppnetwork.org
  AVP: Auth-Session-State(277) l=12 f=-M- val=NO_STATE_MAINTAINED (1)

```

Petición	Totales (bytes)	Útiles (bytes)	Eficiencia (%)	Campos útiles
1	424	19	4,481132075	IMSI (15 Bytes) CancellType (4 Bytes)

Tabla 14. Petición de cancelación LTE

La operativa de respuesta está compuesta por un total de 256 bytes, de los cuales 4 bytes contienen información esencial para la cancelación. La eficiencia en este caso es extremadamente baja, un 1.5625%.

**Traza analizada:**

```

Stream Control Transmission Protocol, Src Port: diameter (3868), Dst Port: diameter (3868)
Diameter Protocol
  Version: 0x01
  Length: 256
  Flags: 0x40
  Command Code: 317 3GPP-Cancel-Location
  ApplicationId: 3GPP S6a/S6d (16777251)
  Hop-by-Hop Identifier: 0x0ea...
  End-to-End Identifier: 0x...2e
  AVP: Session-Id(263) l=72 f=-M- val=...14.3gppnetwork.org;34...300...;2ED68F32
  AVP: Vendor-Specific-Application-Id(260) l=32 f=-M-
  AVP: Result-Code(268) l=12 f=-M- val=DIAMETER_SUCCESS (2001)
  AVP: Origin-Host(264) l=62 f=-M- val=...mcc214.3gppnetwork.org
  AVP: Origin-Realm(296) l=41 f=-M- val=...3gppnetwork.org
  AVP: Auth-Session-State(277) l=12 f=-M- val=NO_STATE_MAINTAINED (1)

```

Respuesta	Totales (bytes)	Útiles (bytes)	Eficiencia (%)	Campos útiles
1	256	4	1,5625	Identificador (4 Bytes)

Tabla 15. Respuesta de cancelación LTE

La operativa conjunta, petición y respuesta, está compuesta por un total de 680 bytes, de los cuales 23 bytes contienen información esencial para la cancelación. La eficiencia en este caso es de un 3.38%.

Petición + Respuesta	Totales (bytes)	Útiles (bytes)	Eficiencia (%)
1	680	23	3,382352941

Tabla 16. Petición/Respuesta de cancelación LTE

En SCCP/MAP la operativa de petición está compuesta por un total de 93 bytes, de los cuales 9 bytes contienen información esencial para la cancelación. La eficiencia en este es de un 9.67%.

#### Traza analizada:

```

+ Signalling Connection Control Part
+ Transaction Capabilities Application Part
- GSM Mobile Application
  - Component: invoke (1)
    - invoke
      invokeID: 0
      + opCode: localValue (0)
      - identity: imsi (0)
        imsi: 12045320000097f6
        TBCD digits: 214      `0( 007
        cancellationType: updateProcedure (0)

```

Petición	Totales (bytes)	Útiles (bytes)	Eficiencia (%)	Campos útiles
1	93	9	9,677419355	IMSI (8) CancellationType (1 Byte)

Tabla 17. Petición de cancelación 3G

La operativa de respuesta está compuesta por un total de 95 bytes, de los cuales 1 bytes contienen información esencial para la cancelación. La eficiencia en este caso es de un 1.05%.

#### Traza analizada:

```

+ Signalling Connection Control Part
+ Transaction Capabilities Application Part
- GSM Mobile Application
  - Component: returnResultLast (2)
    - returnResultLast
      invokeID: 0

```



Respuesta	Totales (bytes)	Útiles (bytes)	Eficiencia (%)	Campos útiles
1	95	1	1,052631579	Identificador (1 Byte)

Tabla 18. Respuesta de cancelación 3G

La operativa conjunta, petición y respuesta, está compuesta por un total de 188 bytes, de los cuales 10 bytes contienen información esencial para el registro. La eficiencia en este caso es de un 5.31%.

Petición + Respuesta	Totales (bytes)	Útiles (bytes)	Eficiencia (%)
1	188	10	5,319148936

Tabla 19. Petición/Respuesta de cancelación 3G

### Comparativa

- **Bytes Totales:** En LTE la cantidad de bytes utilizados en la operativa de cancelación (petición y respuesta) es 3.61 veces superior con respecto a 3G. Este incremento significativo de bytes utilizados en LTE viene motivado, en su mayoría, por la estructura de AVPs que determina el protocolo Diameter, en el que las etiquetas de los campos tienen un tamaño prefijado.
- **Bytes Útiles:** En LTE la cantidad de bytes útiles en la operativa de cancelación (petición y respuesta) es 2.3 veces superior con respecto a 3G. Si bien los datos útiles en ambas tecnologías son los mismos, en LTE se comprueba que consumen más bytes debido a la estructura de AVPs.
- **Eficiencia:** En LTE la eficiencia de la operativa de cancelación (petición y respuesta) es 1.56 veces inferior con respecto a 3G. Aunque la eficiencia es menor en LTE, el protocolo Diameter es más versátil, pudiéndose amoldar a cambios en un futuro sin necesidad de realizar cambios en el protocolo, en contraposición a MAP, donde como se ha comentado es un protocolo rígido y no escalable.

## 4 CONFIGURADOR DE CAPACIDAD

### 4.1 Introducción

En este capítulo, utilizando los datos obtenidos con las trazas analizadas en el capítulo anterior, se procederá a realizar un configurador de capacidad, con el objetivo de predecir a partir de una serie de parámetros, el ancho de banda medido en bytes por segundo, necesario para dar servicio de forma óptima en un operador LTE.

En los siguientes apartados, se estudiarán los parámetros utilizados, el detalle de las operativas estudiadas, llegando al final a adjuntar el excel con las fórmulas necesarias para el cálculo de la capacidad de ancho de banda.

### 4.2 Parámetros básicos

Se adjunta un resumen de los parámetros que son configurables en el configurador de capacidad:

Parámetros
<b>Globales</b>
NºAbonados
Tasa ULR-ULA/ Hora Cargada
Tasa ULR-ULA/ Segundo (TPS) abonado
Tasa AIR-AIA/ Hora Cargada
Tasa AIR-AIA/ Segundo (TPS) abonado
Tasa CLR-CLA/Hora Cargada
Tasa CLR-CLA/ Segundo (TPS) abonado
Longitud SCTP (Bytes)
% Margen Cabecera SCTP
<b>Diameter</b>

Longitud de Sesión (Bytes)
Longitud Host Origen (Bytes)
Longitud Realm Origin (Bytes)
Longitud Host Destino (Bytes)
Longitud Realm Destino (Bytes)
Longitud grabado de Ruta (Bytes)
<b>3GPP</b>
Número de contextos (Bytes)
Longitud del contexto (Bytes)
Número de vectores (Bytes)

A continuación se procede a realizar una descripción de los valores que podrán contener los parámetros indicados anteriormente:

- N° Abonados: Se indicará el número de abonados estimados que tendrá el operador móvil.
- Tasa ULR-ULA/ Hora Cargada: Se indicará el número de operativas de "actualización de localización" que se estima que tendrá la red en una hora. Este dato irá ligado de una manera muy estrecha a la arquitectura de la red, debido a que una red diseñada con celdas muy pequeñas, donde los abonados cambiarán frecuentemente de celda, se tendrá un número mayor de operativas que si la red estuviese dimensionada con un menor número de celdas.
- Tasa AIR-AIA / Hora Cargada: Se indicará el número de operativas de "Información de Autenticación" que se estima que tendrá la red en una hora.
- Tasa CLR-CLA/ Hora Cargada: Se indicará el número de operativas de "Información de Autenticación" que se estima que tendrá la red en una hora.
- Longitud SCTP: Se indicará la longitud que tendrá la capa SCTP.
- % Margen Cabecera SCTP: Se indicará, en %, la variación que podrá

tener la longitud de la capa SCTP.

- Longitud de Sesión: Se indicará la longitud que tendrá el identificador de sesión. Este puede variar en función de cómo el operador host prefiera definirlo.
- Longitud Host Origen: Se indicará la longitud que tendrá el nombre del host. Este puede variar en función de cómo el operador host prefiera definirlo.
- Longitud Host Destino: Se indicará la longitud que tendrá el nombre del host de destino. Este puede variar en función del operador de destino con el que se realice el intercambio de información.
- Longitud Realm Origen: Se indicará la longitud que tendrá el nombre del Realm de origen. Este puede variar en función del operador de origen con el que se realice el intercambio de información.
- Longitud Realm Destino: Se indicará la longitud que tendrá el nombre del Realm de destino. Este puede variar en función del operador de destino con el que se realice el intercambio de información.
- Número de contextos: Se indicará el número de contextos que se estima que el abonado podrá tener configurados,
- Longitud del contexto: Se indicará la longitud del contexto. Dependerá de cómo el operador móvil lo defina.
- Número de vectores: Se indicará el número de vectores que se estima que la red puede solicitar con cada operativa de "Información de autenticación"
- Longitud grabado de Ruta: Se indicará la longitud de la ruta. Dependerá de cómo el operador móvil lo defina.

## 4.3 Configurador

A continuación se adjunta el configurador de capacidad, el cual inicialmente se encuentra configurado una serie de parámetros por defecto. Para hacer uso del configurador, se deberán de dar valor a los parámetros indicados anteriormente y que se recogen de forma separada en la hoja "parámetros". Una vez introducidos estos parámetros, se deberá de comprobar los valores de la hoja "Totales", donde se muestra el valor total de ancho de banda necesario, medido en bytes, bytes por hora y bytes por segundo,

Existen distintas hojas con las operativas involucradas, cuyos valores no deben de ser modificados, al ser valores fijos definidos por el protocolo Diameter.

A continuación se muestran las distintas hojas de las que dispone el configurador.

## Parámetros Variables.

Parámetros	Valor
<b>Globales</b>	
NºAbonados	1
Tasa ULR-ULA/ Hora Cargada	3600
Tasa ULR-ULA/ Segundo (TPS) abonado	1
Tasa AIR-AIA/ Hora Cargada	3600
Tasa AIR-AIA/ Segundo (TPS) abonado	1
Tasa CLR-CLA/Hora Cargada	3600
Tasa CLR-CLA/ Segundo (TPS) abonado	1
Longitud SCTP (Bytes)	28
% Margen Cabecera SCTP	0%
<b>Diameter</b>	
Longitud de Sesión (Bytes)	80
Longitud Host Origen (Bytes)	56
Longitud Realm Origen (Bytes)	36
Longitud Host Destino (Bytes)	40
Longitud Realm Destino (Bytes)	36
Longitud grabado de Ruta (Bytes)	40
<b>3GPP</b>	
Número de contextos (Bytes)	1
Longitud del contexto (Bytes)	212
Número de vectores (Bytes)	1

## Petición de actualización de localización.

Compuesta una serie de campos fijos. Los valores de los campos variables son tomados a partir de la hoja de "parámetros variables"

Campo	Estructura (Bytes)	Dato (Bytes)
Cabecera	20	
Sessionid	8	80
Vendor Specific-Application ID	8	
Vendor ID	8	4
Auth-Application ID	8	4
Origin Host	8	56
Origin realm	8	36
Destination Host	8	40
Destination realm	8	36
Imsi	8	16
Supported Features	12	
Vendor ID	12	4
Features List ID	12	4
Features List	12	4
Terminal Infomation	12	
IMEI	12	16
Software version	12	4
Rat-Type	12	4
URL Flags	12	4
Visited PLMN	12	4
Auth-Session-State	8	4

<b>Suma</b>	220	320
-------------	-----	-----

<b>TOTAL (Indiv)</b>	540
<b>TOTAL (Operador) Bytes/S</b>	270
<b>Total (Operador) Kbps</b>	2,16

## Respuesta de actualización de localización.

Compuesta una serie de campos fijos. Los valores de los campos variables son tomados a partir de la hoja de "parámetros variables"

Campo	Estructura (Bytes)	Dato (Bytes)
Cabecera	20	
Sessionid	8	80
Origin Host	8	40
Origin realm	8	36
Result Code	8	4
Subscription Data	12	
Subscriber status	12	4
Msisdn	12	8
Network Acces Mode	12	4
Apn OI	12	20
AMBR	12	
BW UL	12	4
BW DL	12	4
RAT-Frecuency-Priority-iD	12	4
APN Configuration Profile	12	
APN		212
URA Flags	12	4
Auth-Session-State	8	4

<b>Suma</b>	192	428
-------------	-----	-----

<b>TOTAL (Indiv)</b>	620
<b>TOTAL (Operador) Bytes/S</b>	310
<b>Total (Operador) Kbps</b>	2,48



## Petición de información de autenticación.

Compuesta una serie de campos fijos. Los valores de los campos variables son tomados a partir de la hoja de "parámetros variables"

Campo	Estructura (Bytes)	Dato (Bytes)
Cabecera	20	
Sessionid	8	80
Vendor Specific-Application ID	8	
Vendor ID	8	4
Auth-Application ID	8	4
Origin Host	8	56
Origin realm	8	36
Destination Host	8	40
Destination realm	8	36
Imsi	8	16
Request-EUTRAN-Authentication-Info	12	
Number of Request vectors	12	4
Immediate-Response-Preferred	12	4
Visited PLMN	12	4
Auth-Session-State	8	4

<b>Suma</b>	<b>148</b>	<b>288</b>
-------------	------------	------------

<b>TOTAL (Indiv)</b>	<b>436</b>
<b>TOTAL (Operador) Bytes/S</b>	<b>218</b>
<b>Total (Operador) Kbps</b>	<b>1,744</b>

## Respuesta de información de autenticación.

Compuesta una serie de campos fijos. Los valores de los campos variables son tomados a partir de la hoja de "parámetros variables"

Campo	Estructura (Bytes)	Dato (Bytes)
Cabecera	20	
Sessionid	8	80
Origin Host	8	40
Origin realm	8	36
Result Code	8	4
Authentication Info	12	
E-UTRAN-Vector		132
Auth-Session-State	8	4

<b>Suma</b>	<b>72</b>	<b>296</b>
-------------	-----------	------------

<b>TOTAL (Indiv)</b>	<b>368</b>
<b>TOTAL (Operador) Bytes/S</b>	<b>184</b>
<b>Total (Operador) Kbps</b>	<b>1,472</b>

## Petición de Cancelación de localización.

Compuesta una serie de campos fijos. Los valores de los campos variables son tomados a partir de la hoja de "parámetros variables"

Campo	Estructura (Bytes)	Dato (Bytes)
Cabecera	20	
Sessionid	8	80
Origin Host	8	40
Origin realm	8	36
Destination Host	8	56
Destination realm	8	36
Vendor Specific-Application ID	8	
Vendor ID	8	4
Auth-Application ID	8	4
Imsi	8	16
Cancellation-Type	12	4
Route Record	8	40
Auth-Session-State	8	4

<b>Suma</b>	<b>120</b>	<b>320</b>
-------------	------------	------------

<b>TOTAL (Indiv)</b>	<b>440</b>
<b>TOTAL (Operador) Bytes/S</b>	<b>220</b>
<b>Total (Operador) Kbps</b>	<b>1,76</b>

## Respuesta de Cancelación de localización.

Compuesta una serie de campos fijos. Los valores de los campos variables son tomados a partir de la hoja de "parámetros variables"

Campo	Estructura (Bytes)	Dato (Bytes)
Cabecera	20	
Sessionid	8	80
Result Code	8	4
Vendor Specific-Application ID	8	
Vendor ID	8	4
Auth-Application ID	8	4
Origin Host	8	56
Origin realm	8	36
Auth-Session-State	8	4

<b>Suma</b>	<b>84</b>	<b>188</b>
-------------	-----------	------------

<b>TOTAL (Indiv)</b>	<b>272</b>
<b>TOTAL (Operador) Bytes/S</b>	<b>136</b>
<b>Total (Operador) Kbps</b>	<b>1,088</b>

## TOTALES

Compuesta por el número de Bytes totales que componen todas las operativas y por el ancho de banda (bps) requerido para dichas operativas.

Bytes	UpdateLocation	Authentication Info	CancelLocation
<b>Request</b>	568	464	468
<b>Answer</b>	648	396	300
<b>Total</b>	1216	860	768

<b>Total Bytes</b>	2844
--------------------	------

Bytes/Seg	UpdateLocation	Authentication Info	CancelLocation
<b>Request</b>	284	232	234
<b>Answer</b>	324	198	150
<b>Total</b>	608	430	384

<b>Total Bps</b>	1422
<b>Total Kbps</b>	11,376

# 5 APLICACIÓN SOBRE SOFTWARE COMERCIAL

## 5.1 Introducción

En este capítulo, en base al configurador obtenido en el capítulo anterior, se procederá a aplicarlo sobre dos operadores móviles, que serán llamados 'operador A' y 'operador B'.

El operador A, tiene una trayectoria superior a la del operador B, que aún está en fase beta, de ahí la gran diferencia que el operador A tiene en número de abonados que el operador B.

El número de abonados influirá en el ancho de banda requerido en la red 4G, tanto en el plano de control (objeto de este estudio) como en el plano de usuario. En el estudio se han contabilizado únicamente los abonados que disponen de servicios 4G, aunque potencialmente podrán serlo el resto de abonados registrados en 3G. Añadir que existe un tipo de señalización residual en las operativas de 'actualización de localización' que pertenece a los abonados con servicios de 3G pero que utilizan un terminal 4G. Se ha detectado que este tipo de terminales, por el protocolo que tienen implementado, intentará primeramente enlazar con el nodo de red 4G, y una vez que se le deniegue el servicio, intentará registrar en 3G.

## 5.2 Aplicación

A continuación se procede a aplicar los datos sobre ambos operadores y a analizar los resultados obtenidos.

### **Operador A**

Operador con varios años en el mercado móvil nacional y que hace unos 8 meses lanzó 4G.

El número de abonados totales del operador móvil es actualmente de 250.000 abonados. De los cuales aproximadamente un 10 % hacen uso de

los servicios 4G.

El estudio se ha realizado con en base a este 10%, aunque al finalizar, mostraremos cuales serían los valores de capacidad si el 90% restante de abonados contratasen dichos servicios.

## Parámetros.

Se ha procedido a rellenar los parámetros con los valores obtenidos de las trazas, de esta forma posteriormente se podrá extrapolar a un número mayor de abonados.

Parámetros	Valor
<b>Globales</b>	
NºAbonados	22000
Tasa ULR-ULA/ Hora Cargada	15320
Tasa ULR-ULA/ Segundo (TPS) abonado	0,000193434
Tasa AIR-AIA/ Hora Cargada	44315
Tasa AIR-AIA/ Segundo (TPS) abonado	0,000559533
Tasa CLR-CLA/Hora Cargada	16314
Tasa CLR-CLA/ Segundo (TPS) abonado	0,000559533
Longitud SCTP (Bytes)	28
% Margen Cabecera SCTP	0%
<b>Diameter</b>	
Longitud de Sesión (Bytes)	80
Longitud Host Origen (Bytes)	56
Longitud Realm Origin (Bytes)	36
Longitud Host Destino (Bytes)	40
Longitud Realm Destino (Bytes)	36
Longitud grabado de Ruta (Bytes)	40
<b>3GPP</b>	
Número de contextos (Bytes)	1
Longitud del contexto (Bytes)	212
Número de vectores (Bytes)	1

## Petición de actualización de localización.

En base a los valores parametrizados obtenemos para procesar estas peticiones hace falta un ancho de banda de 9,19 kbps:

Campo	Estructura (Bytes)	Dato (Bytes)
Cabecera	20	
Sessionid	8	80
Vendor Specific-Application ID	8	
Vendor ID	8	4
Auth-Application ID	8	4
Origin Host	8	56
Origin realm	8	36
Destination Host	8	40
Destination realm	8	36
Imsi	8	16
Supported Features	12	
Vendor ID	12	4
Features List ID	12	4
Features List	12	4
Terminal Information	12	
IMEI	12	16
Software version	12	4
Rat-Type	12	4
URL Flags	12	4
Visited PLMN	12	4
Auth-Session-State	8	4
<b>Suma</b>	<b>220</b>	<b>320</b>

<b>TOTAL (Indiv)</b>	<b>540</b>
<b>TOTAL (Operador) Bps</b>	<b>1149</b>
<b>Total (Operador) Kbps</b>	<b>9,192</b>



## Respuesta de actualización de localización.

En base a los valores parametrizados obtenemos para procesar estas respuestas hace falta un ancho de banda de 10,55 Kbps:

Campo	Estructura (Bytes)	Dato (Bytes)
Cabecera	20	
Sessionid	8	80
Origin Host	8	40
Origin realm	8	36
Result Code	8	4
Subscription Data	12	
Subscriber status	12	4
Msisdn	12	8
Network Acces Mode	12	4
Apn OI	12	20
AMBR	12	
BW UL	12	4
BW DL	12	4
RAT-Frequency-Priority-iD	12	4
APN Configuration Profile	12	
APN		212
URA Flags	12	4
Auth-Session-State	8	4

<b>Suma</b>	192	428
-------------	-----	-----

<b>TOTAL (Indiv)</b>	620
<b>TOTAL (Operador) Bps</b>	1319,2222
<b>Total (Operador) Kbps</b>	10,553778

## Petición de información de autenticación.

En base a los valores parametrizados obtenemos para procesar estas peticiones hace falta un ancho de banda de 21,47 Kbps:

Campo	Estructura (Bytes)	Dato (Bytes)
Cabecera	20	
Sessionid	8	80
Vendor Specific-Application ID	8	
Vendor ID	8	4
Auth-Application ID	8	4
Origin Host	8	56
Origin realm	8	36
Destination Host	8	40
Destination realm	8	36
Imsi	8	16
Request-EUTRAN-Authentication-Info	12	
Number of Request vectors	12	4
Immediate-Response-Preferred	12	4
Visited PLMN	12	4
Auth-Session-State	8	4

<b>Suma</b>	148	288
-------------	-----	-----

<b>TOTAL (Indiv)</b>	436
<b>TOTAL (Operador) Bps</b>	2683,5194
<b>Total (Operador) Kbps</b>	21,468156

## Respuesta de información de autenticación.

En este caso, el ancho de banda en gran medida dependerá del número de vectores solicitados.

En base a los valores parametrizados obtenemos para procesar estas respuestas hace falta un ancho de banda de 18.12 Kbps:

Campo	Estructura (Bytes)	Dato (Bytes)
Cabecera	20	
Sessionid	8	80
Origin Host	8	40
Origin realm	8	36
Result Code	8	4
Authentication Info	12	
E-UTRAN-Vector		132
Auth-Session-State	8	4

<b>Suma</b>	72	296
-------------	----	-----

<b>TOTAL (Indiv)</b>	368
<b>TOTAL (Operador) Bps</b>	2264,9889
<b>Total (Operador) Kbps</b>	18,119911

## Petición de cancelación.

En base a los valores parametrizados obtenemos para procesar estas peticiones hace falta un ancho de banda de 21,66 Kbps:

Campo	Estructura (Bytes)	Dato (Bytes)
Cabecera	20	
Sessionid	8	80
Origin Host	8	40
Origin realm	8	36
Destination Host	8	56
Destination realm	8	36
Vendor Specific-Application ID	8	
Vendor ID	8	4
Auth-Application ID	8	4
Imsi	8	16
Cancellation-Type	12	4
Route Record	8	40
Auth-Session-State	8	4
<b>Suma</b>	120	320

<b>TOTAL (Indiv)</b>	440
<b>TOTAL (Operador) Bps</b>	2708,138889
<b>Total (Operador) Kbps</b>	21,66511111

## Respuesta de cancelación.

En base a los valores parametrizados obtenemos para procesar estas respuestas hace falta un ancho de banda de 13.39 Kbps:

Campo	Estructura (Bytes)	Dato (Bytes)
Cabecera	20	
Sessionid	8	80
Result Code	8	4
Vendor Specific- Application ID	8	
Vendor ID	8	4
Auth-Application ID	8	4
Origin Host	8	56
Origin realm	8	36
Auth-Session-State	8	4
<b>Suma</b>	<b>84</b>	<b>188</b>

<b>TOTAL (Indiv)</b>	272
<b>TOTAL (Operador) Bps</b>	1674,1222
<b>Total (Operador) Kbps</b>	13,392978

## Totales

En base a los datos obtenidos de las tablas anteriores, obtenemos que se necesitara un ancho de banda de 100,85 KBps.

Bytes	UpdateLocation	Authentication Info	CancelLocation
<b>Request</b>	568	464	468
<b>Answer</b>	648	396	300
<b>Total</b>	1216	860	768

<b>Total Bytes</b>	2844
--------------------	------

Bytes/Seg	UpdateLocation	Authentication Info	CancelLocation
<b>Request</b>	1208,577778	2855,855556	2880,475
<b>Answer</b>	1378,8	2437,325	1846,458333
<b>Total</b>	2587,377778	5293,180556	4726,933333

<b>Total Bps</b>	12607,49167
<b>Total Kbps</b>	100,8599333

En el caso de extrapolarse los datos al número de abonados totales (250.000) que tiene el operador A, modificando los parámetros de entrada: número de abonados y tasas, obtendríamos que el ancho de banda necesario oscilaría en torno al 1.14 Mbps

## Operador B

Operador con varios años en el mercado móvil nacional y que hace unos pocos meses lanzó 4G en modo pruebas.

El número de abonados totales del operador móvil es actualmente de 110.000 abonados. Con los que únicamente se están utilizando un rango de unas 20 tarjetas en modo 'pruebas' para hacer uso de estos servicios 4G mientras se integra con el Host.

El estudio se ha realizado en base a estas decenas de abonados, aunque al finalizar, mostraremos cuales serían los valores de capacidad si el cupo restante de abonados contratasen dichos servicios.

## Parámetros.

Se ha procedido a rellenar los parámetros con los valores obtenidos de las trazas, de esta forma posteriormente se podrá extrapolar a un número mayor de abonados.

Comparado con el operador A anterior, en este caso hay varios parámetros que han variado, aparte de los parámetros globales.

En este caso los valores obtenidos son ínfimos, de unas decenas de Kilobytes, pero a la hora de extrapolar a un número mayor se podrá comparar la capacidad requeridas por cada operador.

## Parámetros

Parámetros	Valor
<b>Globales</b>	
NºAbonados	20
Tasa ULR-ULA/ Hora Cargada	34
Tasa ULR-ULA/ Segundo (TPS) abonado	0,000472222
Tasa AIR-AIA/ Hora Cargada	8052
Tasa AIR-AIA/ Segundo (TPS) abonado	0,111833333
Tasa CLR-CLA/Hora Cargada	3478
Tasa CLR-CLA/ Segundo (TPS) abonado	0,111833333
Longitud SCTP (Bytes)	20
% Margen Cabecera SCTP	0%
<b>Diameter</b>	
Longitud de Sesión (Bytes)	75
Longitud Host Origen (Bytes)	42
Longitud Realm Origin (Bytes)	33
Longitud Host Destino (Bytes)	40
Longitud Realm Destino (Bytes)	43
Longitud grabado de Ruta (Bytes)	42
<b>3GPP</b>	
Número de contextos (Bytes)	1
Longitud del contexto (Bytes)	220
Número de vectores (Bytes)	1

## Petición de actualización de localización.

En este caso al estar en fase de pruebas, los datos obtenidos de ancho de banda son de unos pocos bps.

Campo	Estructura (Bytes)	Dato (Bytes)
Cabecera	20	
Sessionid	8	75
Vendor Specific-Application ID	8	
Vendor ID	8	4
Auth-Application ID	8	4
Origin Host	8	42
Origin realm	8	33
Destination Host	8	40
Destination realm	8	43
Imsi	8	16
Supported Features	12	
Vendor ID	12	4
Features List ID	12	4
Features List	12	4
Terminal Infomation	12	
IMEI	12	16
Software version	12	4
Rat-Type	12	4
URL Flags	12	4
Visited PLMN	12	4
Auth-Session-State	8	4

<b>Suma</b>	220	305
-------------	-----	-----

<b>TOTAL (Indiv)</b>	525
<b>TOTAL (Operador) Bps</b>	2,4791667
<b>Total (Operador) Kbps</b>	0,0198333



## Respuesta de actualización de localización.

En este caso al estar en fase de pruebas, los datos obtenidos de ancho de banda son de unos pocos bps.

Campo	Estructura (Bytes)	Dato (Bytes)
Cabecera	20	
Sessionid	8	75
Origin Host	8	40
Origin realm	8	43
Result Code	8	4
Subscription Data	12	
Subscriber status	12	4
Msisdn	12	8
Network Acces Mode	12	4
Apn OI	12	20
AMBR	12	
BW UL	12	4
BW DL	12	4
RAT-Frecuency-Priority-iD	12	4
APN Configuration Profile	12	
APN		220
URA Flags	12	4
Auth-Session-State	8	4

<b>Suma</b>	192	438
-------------	-----	-----

<b>TOTAL (Indiv)</b>	630
<b>TOTAL (Operador) Bps</b>	2,975
<b>Total (Operador) Kbps</b>	0,0238

## Petición de información de autenticación.

En este caso al estar en fase de pruebas, los datos obtenidos de ancho de banda son de unos 3,76 Kbps.

Campo	Estructura (Bytes)	Dato (Bytes)
Cabecera	20	
Sessionid	8	75
Vendor Specific-Application ID	8	
Vendor ID	8	4
Auth-Application ID	8	4
Origin Host	8	42
Origin realm	8	33
Destination Host	8	40
Destination realm	8	43
Imsi	8	16
Request-EUTRAN-Authentication-Info	12	
Number of Request vectors	12	4
Immediate-Response-Preferred	12	4
Visited PLMN	12	4
Auth-Session-State	8	4

<b>Suma</b>	148	273
-------------	-----	-----

<b>TOTAL (Indiv)</b>	421
<b>TOTAL (Operador) Bps</b>	470,81833
<b>Total (Operador) Kbps</b>	3,7665467

## Respuesta de información de autenticación.

En este caso al estar en fase de pruebas, los datos obtenidos de ancho de banda son de unos pocos 3,31 Kbps.

Campo	Estructura (Bytes)	Dato (Bytes)
Cabecera	20	
Sessionid	8	75
Origin Host	8	40
Origin realm	8	43
Result Code	8	4
Authentication Info	12	
E-UTRAN-Vector		132
Auth-Session-State	8	4

<b>Suma</b>	72	298
-------------	----	-----

<b>TOTAL (Indiv)</b>	370
<b>TOTAL (Operador) Bps</b>	413,78333
<b>Total (Operador) Kbps</b>	3,3102667

## Petición de cancelación.

En este caso al estar en fase de pruebas, los datos obtenidos de ancho de banda son de unos pocos 3,82 Kbps.

Campo	Estructura (Bytes)	Dato (Bytes)
Cabecera	20	
Sessionid	8	75
Origin Host	8	40
Origin realm	8	43
Destination Host	8	42
Destination realm	8	33
Vendor Specific-Application ID	8	
Vendor ID	8	4
Auth-Application ID	8	4
Imsi	8	16
Cancellation-Type	12	4
Route Record	8	42
Auth-Session-State	8	4

<b>Suma</b>	120	307
-------------	-----	-----

<b>TOTAL (Indiv)</b>	427
<b>TOTAL (Operador) Bps</b>	477,5283333
<b>Total (Operador) Kbps</b>	3,820226667

## Respuesta de cancelación.

En este caso al estar en fase de pruebas, los datos obtenidos de ancho de banda son de unos 2,23 Kbps.

Campo	Estructura (Bytes)	Dato (Bytes)
Cabecera	20	
Sessionid	8	75
Result Code	8	4
Vendor Specific-Application ID	8	
Vendor ID	8	4
Auth-Application ID	8	4
Origin Host	8	42
Origin realm	8	33
Auth-Session-State	8	4

<b>Suma</b>	84	166
-------------	----	-----

<b>TOTAL (Indiv)</b>	250
<b>TOTAL (Operador) Bps</b>	279,5833
<b>Total (Operador) Kbps</b>	2,236667

## Totales.

En este caso al estar en fase de pruebas, los datos obtenidos de ancho de banda son de unos 13,89 Kbps.

Bytes	UpdateLocation	Authentication Info	CancelLocation
<b>Request</b>	545	441	447
<b>Answer</b>	650	390	270
<b>Total</b>	1195	831	717

<b>Total Bytes</b>	2743
--------------------	------

Bytes/Seg	UpdateLocation	Authentication Info	CancelLocation
<b>Request</b>	2,573611111	493,185	499,895
<b>Answer</b>	3,069444444	436,15	301,95
<b>Total</b>	5,643055556	929,335	801,845

<b>Total Bps</b>	1736,823056
<b>Total Kbps</b>	13,89458444

En el caso de extrapolarse los datos al número de abonados totales (110.000) que tiene el operador, modificando los parámetros de entrada: número de abonados y tasas, obtendríamos que el ancho de banda necesario oscilaría en torno al 61.2 Kbps

Si lo extrapolamos al número de abonados de del operador A obtenemos que ancho de banda necesario sería de 1.09 Mbps, muy similar al anterior. Los 49 Kbps adicionales del operador A se deben a la diferencia en las longitudes de los parámetros 3GPP y Diameter, como es el caso del identificador de sesión, del origen, y de la longitud SCTP.

## 6 HISTORIA DEL PROYECTO

En este capítulo se muestra la evolución del proyecto dividiendo éste en fases, según fue creciendo y formándose.

El proyecto fue desarrollado teniendo en cuenta distintas fases y etapas de modo que se pueda ver su crecimiento y evolución y cómo se llega a la solución final que aquí se presenta.

Las fases en las que se ha desarrollado el proyecto se muestran a continuación:

### 6.1 Fase I: Especificación de requisitos

En esta primera fase se realiza un análisis de los objetivos que se pretenden conseguir para el proyecto y los requisitos que se deben cumplir para el mismo.

El resumen de objetivos y requisitos definidos se muestran a continuación:

Se pretende diseñar un configurador de capacidad de señalización que permita obtener el ancho de banda necesario para dar un servicio óptimo a los abonados de una red móvil 4G.

El estudio se centra en la realización de un configurador de capacidad de la señalización de la parte del Núcleo de Red, debido a que es la parte que genera una mayor señalización hacia la red.

Dentro de la señalización de la parte del Núcleo de Red, se ha tomado la decisión de abarcar únicamente las operativas que se presenten de una manera más frecuente, dejando como residual las que no se presenten de forma recurrente. Esta parte residual no debería de superar más del 5% del total de la señalización.

El configurador debe de tener una serie de parámetros de entrada, cuyos valores serán variables acorde a las especificaciones del operador móvil del que se quiera obtener el dato de ancho de banda total.

## 6.2 Fase II: Recopilación de Documentación

Para poder desarrollar el configurador de capacidad fue necesario realizar una búsqueda y estudio de determinados protocolos y herramientas que permitieran conseguir los objetivos y requisitos especificados en la primera fase.

Lo primero de todo era realizar un estudio sobre los protocolos que se comenzaban a utilizar en la tecnología 4G. Esta labor en sus inicios fue laboriosa, debido a que la documentación sobre los protocolos empleados en 4G era escasa, por lo que fue necesario la lectura de distinta bibliografía donde se presentaban distintas alternativas para su implementación, sobre todo en lo referente a la comunicación de voz.

En paralelo, se comenzó a recopilar toda la información sobre los protocolos de la señalización 3G. En este caso, resultó sencillo obtener esta información debido a que estos protocolos están implementados en todas las redes nacionales e internacionales y se dispone de gran número de estudios y bibliografía sobre ello.

## 6.3 Fase III: Estudio protocolos de señalización

En esta fase, se ha realizado un estudio de cada uno de los protocolos de las distintas redes 3G y 4G, a nivel de su funcionalidad, de sus interfaces y de sus puntos de referencia.

En 3G, se ha analizado los protocolos desde la capa de red, pasando por la de transporte y enlace, hasta llegar MAP a través de SCCP y TCAP. Se ha profundizado en los protocolos SCCP y MAP, describiendo su estructura, tanto en los campos que lo componen como en sus longitudes.

En el caso de las redes 4G, se ha centrado el análisis en el protocolo de Diameter, que es el protocolo utilizado para dichas comunicaciones, debido a que sus redes se basan en la transmisión por IP. Al igual que en el



caso de MAP, se ha profundizado hasta llegar al análisis de los campos que lo componen y sus longitudes.

## 6.4 Fase IV: Obtención y análisis de trazas

A continuación en esta fase se ha procedido a la obtención de trazas. Tanto para 3G como para 4G se ha tenido acceso a distintos operadores móviles virtuales de ámbito nacional, disponiendo de su repositorio de trazado para la obtención de las distintas operativas de señalización a analizar.

El programa empleado para el análisis de estas trazas ha sido Wireshark. Con él se ha podido visualizar los distintos protocolos estudiado en las fases anteriores, comprobando sus estructuras y sus longitudes. Es por ello que esta fase se ha podido solapar en días con la fase anterior del estudio de los protocolos.

## 6.5 Fase V: Comparación de protocolos

En esta fase, se ha realizado un estudio comparativo entre la señalización 3G y 4G, tomando como referencia las operativas de los protocolos MAP y Diameter. De las ocho operativas estudiadas, el análisis comparativo se ha centrado únicamente en tres ellas; autenticación, actualización y cancelación, ya que como se ha comentado entre las tres acaparan en torno al 95% del tráfico de señalización, siendo la señalización de las operativas restantes prácticamente residual.

La comparación se ha estructurado por tipo de operativa, analizando cada una de ellas en el contexto del protocolo utilizado y en base a una serie de medidas: bytes totales, bytes útiles y eficiencia.

Se ha finalizado con una comparativa por tipo de operación, analizando los pros y los contras de cada uno de los protocolos del estudio.

## **6.6 Fase VI: Diseño del configurador de capacidad**

La siguiente fase del proyecto es el diseño del configurador de capacidad que se pretende desarrollar.

Para diseñar el configurador de capacidad se ha tenido en cuenta todo lo estudiado en las fases anteriores. En base a ello, se ha seleccionado una serie de parámetros de entrada a los que se les podrá asignar un valor, en función de los parámetros requeridos por el operador.

Se pretende realizar el diseño primeramente por bloques, partiendo de las operativas de red estudiadas y que son las que aparecen con mayor número de frecuencia. Esta separación por operativa hace que se pueda definir específicamente tasas por hora cargada y por abonados para cada una de ellas, facilitando la modelación del diseño.

A su vez, cada operativa fue dividida en dos para su estudio. Por una parte se ha tenido en cuenta la operativa de petición y por otra parte la operativa de respuesta, para tener una visión más específica de cuáles de los parámetros variables seleccionados para introducir son los que pueden hacer que la capacidad de la red se incremente considerablemente y pueda llegar a su límite.

Tras haber diseñado cada operativa, se procede a crear los parámetros de salida global, que en este caso será el ancho de banda total necesario para soportar de una forma óptima la señalización del núcleo de red.

## **6.7 Fase VII: Aplicación configurador en entorno comercial**

Tras haber diseñado el configurador de capacidad de red era necesario probar su funcionalidad. Para ello se recopilaban datos de dos

operadores móviles como son: número de abonados con 4G, tasas en hora cargada de las distintas operativas, etc.

En esta fase de aplicación se descubrieron fallos diseño que fue necesario corregir.

Los datos obtenidos se contrastaron con el diseño actual de estos operadores móviles, comprobando que sus redes estaban sobredimensionadas para la parte de control de usuario. El dato de ancho de banda disponible en el operador, se obtuvo accediendo a la infraestructura de red, concretamente a los servidores donde se encontraban los elementos de red MME y SGW, y comprobando las configuraciones de las tarjetas de red disponibles así como el caudal contratado para su salida con el proveedor de acceso a internet.

## **6.8 Fase VIII: Documentación**

La última fase del proyecto fue la fase de documentación. Esta fase a su vez se dividen dos: documentación del configurador de capacidad y elaboración de la memoria del proyecto.

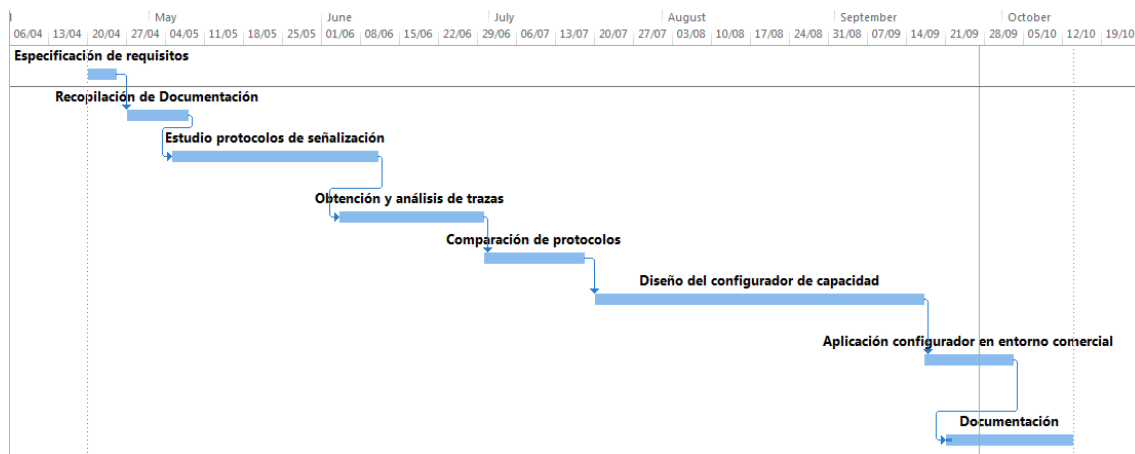
Para la escritura de la memoria del proyecto se recopilaron, resumieron y tradujeron toda aquella información que se utilizó para el desarrollo del proyecto: información estudiada e información creada para el proyecto como tablas, imágenes, esquemas de los protocolos, etc.

# 7 GESTIÓN DEL PROYECTO

## 7.1. Planificación.

El proyecto se estructuró en función de 8 fases, las cuales han sido descritas en el capítulo primero.

En base a estas fases de estudio, se presenta un diagrama de Gantt en las que se dividió el proyecto durante los 6 meses en los que se realizó:



A continuación se muestra el desglose de cada fase, indicando los días utilizados en función de la fecha de inicio y la fecha de fin:

Fase	Fecha de inicio	Fecha de fin	Días
Especificación de requisitos	20/04/2015	24/04/2015	5
Recopilación de Documentación	27/04/2015	07/05/2015	9
Estudio protocolos de señalización	05/05/2015	10/06/2015	27
Obtención y análisis de trazas	04/06/2015	29/06/2015	18
Comparación de protocolos	30/06/2015	17/07/2015	14
Diseño del configurador de capacidad	20/07/2015	16/09/2015	43
Aplicación configurador en entorno comercial	17/09/2015	02/10/2015	12
Documentación	21/09/2015	13/10/2015	17

## 7.2. Presupuesto.

A continuación se detalla el presupuesto del proyecto, diferenciando la parte destinada al presupuesto de mano de obra y al presupuesto material.

### 7.2.1. Costes de personal.

Para calcular este presupuesto se ha tenido en cuenta el número de horas empleadas en cada fase. Este número se obtiene a partir del número de días empleados para cada fase descrita. Para ello se ha tomado el calendario laboral, donde las semanas son de 5 días y 8 horas de trabajo diario.

En la siguiente tabla se muestra el desglose del presupuesto de mano de obra. Se ha tomado como referencia que el precio por día de un ingeniero de telecomunicaciones es de 262€ (ver web uc3m PFC):

Fase	Fecha de inicio	Fecha de fin	Días	Precio €
Especificación de requisitos	20/04/2015	24/04/2015	5	1310
Recopilación de Documentación	27/04/2015	07/05/2015	9	2358
Estudio protocolos de señalización	05/05/2015	10/06/2015	27	7074
Obtención y análisis de trazas	04/06/2015	29/06/2015	18	4716
Comparación de protocolos	30/06/2015	17/07/2015	14	3668
Diseño del configurador de capacidad	20/07/2015	16/09/2015	43	11266
Aplicación configurador en entorno comercial	17/09/2015	02/10/2015	12	3144
Documentación	21/09/2015	13/10/2015	17	4454

Presupuesto Mano de Obra Total = 37.990 €

\* Existen fases en las que se tienen en cuenta únicamente los días que se no solapan con las fases anteriores.

## 7.2.2. Costes de materiales.

En la siguiente tabla se muestra el desglose del presupuesto material:

Material	Precio/Unidad€	Unidades	Precio Total
Portátil	a)	1	70
Cuota de conexión a Internet (mensual)	20	6	120
Cuota alquiler puesto en oficina (incluye electricidad , agua) mensual	200	6	1200
Licencias Software (mensual)	40	6	240

Presupuesto Material Total = 1.630 €

a) Fórmula de cálculo de la Amortización:

$$\frac{A}{B} \times C \times D$$

**A** = nº de meses desde la fecha de facturación en que el equipo es utilizado = 6 meses

**B** = periodo de depreciación (60 meses)

**C** = coste del equipo (sin IVA) = 700

**D** = % del uso que se dedica al proyecto (habitualmente 100%)

## 7.2.3. Coste total del proyecto.

Sumando las dos las dos cantidades anteriores obtenemos el presupuesto total del proyecto que se muestra a continuación:

**Presupuesto Material** 1.630 €

**Presupuesto de Mano de Obra** 37.990 €

**Total** 39.620€

## 8 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

### 8.1. Conclusiones del proyecto

En este proyecto se ha diseñado un configurador de capacidad para redes LTE, pero previamente se han analizado los protocolos de señalización MAP y Diameter, realizándose una comparativa entre ambos.

Se ha comprobado como en LTE las operativas estudiadas tienen un mayor consumo de bytes con respecto a las de 3G. Este hecho viene motivado por la propia estructura en la que se encuentra construida el protocolo Diameter, basado en estructuras del tipo AVPs, en el que las etiquetas de estos AVPs tienen un tamaño prefijado y que siempre debe de ser un tamaño múltiplo de 4.

Esto hace que aún siendo los datos útiles los mismos en ambas tecnologías, en LTE se consuman más bytes.

En contraposición la tecnología 3G, donde el protocolo MAP, al crearse específicamente para las comunicaciones móviles, ajusta más los bytes utilizados y usa un número menor de bytes para sus operativas. Aunque esto supone un hecho limitante a la hora de ajustarse a nuevas especificaciones y ser un protocolo escalable.

A nivel de eficiencia, el protocolo Diameter resultar menos eficiente que el protocolo MAP, aunque puede ser más eficiente Diameter, como es en el caso de la operativa de localización, si el subscritor tiene más de un contexto para transmitir a la red, ya que utiliza su estructura de AVPs para transmitir dicha información en la misma operativa sin necesidad de que se envíe en una operativa distinta, como ocurre con MAP.

Aunque se ha hablado que la eficiencia es menor en Diameter, el atractivo del uso de este protocolo es que es más versátil, pudiéndose

amoldar a cambios en un futuro sin necesidad de realizar cambios sustanciales en el protocolo, en contraposición a MAP, como y se ha comentado que es un protocolo rígido y no escalable.

Con el diseño del configurador de capacidad y su aplicación a un entorno comercial, se ha podido comprobar que dependiendo de la longitud de los parámetros de entrada que se seleccionen para configurar la red, como son: el host origen, el host de destino, el identificador de sesión o la solicitud de dos vectores para el registro en la red, obtenemos que ancho de banda necesario, para la señalización por parte del núcleo de red, puede incrementarse hasta en un 10%.

En este estudio el hecho de poder haber tenido acceso a diferentes operadores móviles reales, en cuanto a los datos de diseño de la red y a sus elementos que lo componen se refiere, se ha podido comprobar que sus redes están sobredimensionadas.

Se ha consultado con los distintos departamentos de estos operadores móviles, ingeniería y administración, y la contratación del ancho de banda a los proveedores de red no supone actualmente un coste excesivo en las cuentas de resultados, siempre y que se trate de contrataciones a nivel nacional, ya que a nivel internacional los costes de contratación de ancho de banda si resultan costoso, por lo que se suele traer únicamente la parte de control de usuario (señalización de red) , y la del plano de usuario, se deja que la finalice un proveedor local del país origen.

En estos casos, en los que es preciso traerse la señalización de red desde segundos países, el configurador de capacidad es útil, ya que cada Mbps contratado de más, repercutirá en la cuenta de resultados debido al alto coste que tiene su contratación.



## 8.2. Trabajos futuros.

Una vez finalizado nuestro estudio y diseño del configurador de capacidad, se proponen varias acciones futuras para mejorarlo y completarlo:

### **Desde el punto de vista del plano de control.**

1. Estudio del resto de protocolos que se emplean en la red 4G, así como el ancho de banda consumido por estos:

- **Gy:** Entre el PGW y el OCS (Online charging system – Sistema de carga en línea).
- **Gz:** Entre el PGW y el OCFS (Offline charging system – Sistema de carga fuera de línea).
- **Gx:** Entre el PGW y el PCRF (Policy and charging rules function - Políticas y reglas de función de cobro).
- **SGi:** Entre el PGW y las plataformas de servicio (IMS) y acceso a otras redes.
- **Rx:** Entre el PCRF y las plataformas de servicio (IMS) y acceso a otras redes.
- **S5/S8:** Entre el PGW y el SGW.
- ....

2. Los Operadores que implementen LTE, deberán soportar también tráfico de voz y video sobre IP, presencia y mensajería instantánea, servicios de llamadas en grupo, etc., a parte de la de datos. Para el tráfico de voz sobre LTE (VoLTE) se necesita un núcleo de paquetes IMS (IP Multimedia Subsystem - Subsistema multimedia IP) o en forma intermedia emplear CSFB (Circuit Switched Fallback - Retroceso a conmutación de

circuitos) como un paso previo a la migración de un PacketCore IMS.

El subsistema IMS se materializa mediante el despliegue de infraestructura constituida por una serie de elementos (servidores, bases de datos, gateways) que se comunican entre sí mediante diversos protocolos, fundamentalmente estándares del IETF (Internet Engineering Task Force – Ingeniería de Internet de equipo de trabajo).

Por lo tanto, otro punto de estudio son estos protocolos que comunican los elementos de la infraestructura IMS, así como el ancho de banda consumido por estos.

3. En el estudio se ha obviado algunas de las operativas analizadas al tratarse de un tráfico residual no superior al 5%. En estudios a futuros se podrían incluir estas operativas para hacer que el configurador sea más preciso.

### **Desde el punto de vista del plano de usuario.**

En este estudio únicamente se ha tenido en cuenta los protocolos del plano de control. Podría ampliarse el estudio con el uso de la red por parte de los abonados, y estimar, en función de los servicios en los que podrán estar dados de alta, el ancho de banda necesario para cada uno de estos.

## 9 BIBLIOGRAFIA

### REFERENCIAS:

- [1] "Red de Señalización Número 7". Lee Dryburgh and Jeff Hewett. 2015  
[http://www.informit.com/library/library.aspx?b=Signaling\\_System\\_No\\_7](http://www.informit.com/library/library.aspx?b=Signaling_System_No_7)
- [2] "Protocolo Diameter". J. Arkko, J. Loughney, G. Zorn . 2012  
<http://tools.ietf.org/html/rfc6733>
- [3] "Protocolo Diameter".  
<http://diameter-protocol.blogspot.com.es/>
- [4] "Evolución de las redes CORE" Ignacio Martínez. 2005.  
<http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit148/40-42.pdf>
- [5] "Introducción al Wireshark". Universidad de Comillas. Javier Matanza. 2012  
[http://www.iit.upcomillas.es/jmatanza/teaching/LabComIndAv/3.1.-Intro\\_Wirehsark.pdf](http://www.iit.upcomillas.es/jmatanza/teaching/LabComIndAv/3.1.-Intro_Wirehsark.pdf)
- [6] LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles. Barcelona: Fundación Vodafone España, 2010. Agustí, R., Bernardo, F., Casadevall, F., Ferrús, R., Pérez, J., Sallent, O. (2010).
- [7] Cátedra Telefónica-Movistar, LTE: Long Term Evolution. EUIT de Telecomunicación Campus Sur, UPM. 2002.
- [8] Planificación de una red 4G, 2012. Tesis presentada en Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV). Sergio Octavio Manríquez López
- [9] Estudi de les bandes freqüencials en el sistema LTE a Barcelona, 2013. PFC presentado en la ETSETB. Henar Sánchez Velázquez.
- [10] Despliegue de una red LTE en Madrid, 2012. PFC presentado en la Universidad Carlos III de Madrid. Qiaoyan Qu.
- [11] Evolved Packet System (EPS) The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS. 2012. Pierre Lescuyer and Thierry Lucidarme.
- [14] LTE. The UMTS Long Term Evolution, from theory to practice. 2011. Stafania Sesia, Issam Toufik and Matthew Baker.
- [15] Nominal and Detailed LTE Radio Network Planning considering Future Deployment in Dhaka City. 2012. International Journal of Computer Applications. Nafiz Imtiaz Bin Hamid, Md. Ashraful Hoque, Kazi Khairul Islam.
- [16] A Close Examination of Performance and Power Characteristics of 4G LTE Networks. 2012. Junxian Huang, Feng Qian, Alexandre Gerber, Z. Morley Mao, Subhabrata Sen, Oliver Spatscheck, University of Michigan, AT&T Labs – Research.

